PHYSIQUE BIOLOGIQUE

LES

PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

DE LA VIE

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

PHYSIQUE BIOLOGIQUE

56 A

LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES DE LA VIE

PAR

J. GAVARRET

PROFESSEUR DE PHYSIQUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

PARIS

VICTOR MASSON ET FILS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

M DCCC LXIX

PRÉFACE

Chargé de l'enseignement de la Physique dans une faculté de médecine, nous avons toujours pensé que nous ne remplirions pas complétement la mission qui nous est confiée, si, exclusivement placé sur le terrain de la Physique générale, nous nous contentions d'exposer à nos élèves les lois des Actions moléculaires, de l'Acoustique, de la Chaleur, de l'Électricité, de l'Optique. Aussi nous sommes-nous toujours efforcé de mettre en lumière les rapports des sciences physico-chimiques et des diverses branches de la biologie, de déterminer la part pour laquelle les agents cosmiques (Chaleur, Électricité, Lumière, etc.) interviennent dans les fonctions de l'économie et, en général, dans les phénomènes de la vie ; de montrer comment et

combien l'application des principes, des méthodes et des procédés de la Physique générale a contribué et est appelée à contribuer encore aux progrès de la Physiologie, de la Pathologie, de l'Hygiène et même de la Thérapeutique. Les leçons consacrées tous les ans à l'étude de ces questions, dont l'ensemble constitue la *Physique biologique*, est à nos yeux la partie la plus utile et la plus importante de notre enseignement. Les origines de la chaleur produite par les êtres vivants; les phénomènes physiques de la vision, de la phonation et de l'audition; les conditions physiques des climats; l'imbibition, la capillarité, l'endosmose, la diffusion des liquides et des gaz dans leurs rapports avec l'absorption; l'électrophysiologie; les conditions et les actions mécaniques de l'économie : tels sont les sujets que nous avons successivement traités dans nos conférences de Physique biologique. Au commencement de la présente année scolaire, il nous a paru que le moment était venu d'élargir le cadre de cet enseignement, d'étudier des questions plus générales et d'un ordre plus élevé.

Dans ces dernières années, les physiciens ont fixé plus fortement leur attention sur les rapports réciproques des diverses forces du monde inor-

ganique ; leurs efforts ont enrichi la science d'une conquête d'une immense portée. Ils ont démontré que toutes ces forces ont une commune mesure, *le travail*, et changent sans cesse de forme, sans jamais rien perdre de leur énergie ; que la même quantité de force, peut, suivant les conditions au milieu desquelles elle se manifeste, nous apparaître tour à tour sous forme de force vive, de chaleur, d'électricité, d'affinité, etc., etc. Cette grande et belle théorie de la *réciprocité des forces*, est-elle assez générale pour embrasser les manifestations dynamiques du monde organisé aussi bien que celles du monde inorganique? doit-elle, en un mot, être acceptée comme universelle ? Nous avons consacré nos leçons de physique biologique à l'examen de cette grave question, convaincu que, dans cette voie seulement, nous pourrions trouver la solution du problème, posé depuis si longtemps, de la nature des rapports de la biologie et des sciences physico-chimiques.

Dégagé de toute idée préconçue, prêt à accepter la vérité quelle qu'elle fût, du moment où elle nous serait démontrée, nous sommes entré dans cette étude avec la ferme résolution de la pousser aussi loin que les faits bien observés nous le

permettraient, et de nous arrêter là où, les matériaux faisant défaut, il n'y aurait plus place que pour l'hypothèse.—Comme point de départ, nous avons constaté la réalité, que du reste personne ne conteste aujourd'hui, d'un mouvement circulatoire qui entraîne incessamment la matière du monde inorganique au végétal, de la plante à l'animal et finalement la rend au règne minéral qui l'a fournie. — Passant ensuite à l'étude des propriétés des éléments histologiques, nous avons vu que chaque élément, distinct par sa composition et par sa texture, est doué d'une *activité propre* dont tout démontre les rapports d'étroite solidarité avec les réactions physico-chimiques accomplies dans la trame des capillaires généraux. Ces activités nous sont apparues comme des modalités dynamiques spéciales dérivant, par voie de transformation et sans perte d'énergie, de ces réactions physico-chimiques sans lesquelles il n'y a ni nutrition, ni développement possibles. Dans chaque organe de l'économie, les activités propres des éléments histologiques exécutent un travail spécial sous l'influence des conditions extérieures de milieu ambiant; le travail de l'agrégat vivant n'est que la *résultante* de tous ces travaux partiels. — Nous

avons ainsi acquis la conviction que la force dont dispose l'animal est tout entière fournie par la combustion des principes alimentaires qu'il emprunte au végétal, et qu'en brûlant, ces principes alimentaires ne font que rendre la force qu'au moment de leur formation, la plante elle-même a empruntée au soleil.—Telles sont les considérations sur lesquelles nous nous sommes appuyé pour repousser, comme une pure et vaine hypothèse, l'existence de cette force indépendante, directrice, surajoutée à l'organisme que, sous des noms divers, les écoles vitalistes ont invoquée pour expliquer les phénomènes de nutrition et de développement.

Entre le monde inorganique et le monde organisé il s'opère donc un échange incessant de matière et de force. De ce principe découlent, comme conséquences nécessaires, la légitimité de l'extension de la théorie de la réciprocité des forces au monde organisé, en même temps que la définition des vrais rapports de la biologie et des sciences physico-chimiques.—Après avoir fourni la démonstration expérimentale de cette double circulation de la matière et de la force, nous avons dû nous arrêter. Le but que nous nous étions proposé était atteint ; il ne nous appar-

tenait pas de pousser plus loin l'étude des activités propres des éléments histologiques. La recherche des lois de ces modalités dynamiques spéciales, caractéristiques de l'état de vie, rentre évidemment de plein droit dans le domaine de la physiologie pure.

Au milieu des discussions passionnées soulevés par ces questions de physiologie générale, deux tendances également fâcheuses se sont manifestées : les uns repoussent systématiquement les faits les mieux constatés, parce qu'ils sont ou paraissent en contradiction avec leurs doctrines ; les autres s'exposent à compromettre les principes les mieux établis, en leur donnant, au moins prématurément, une extension que l'observation est loin de justifier. D'un côté comme de l'autre, on s'écarte des règles de la méthode expérimentale ; on se montre plus préocupé de la défense d'idées préconçues que du triomphe de la vérité. — Le principe de la réciprocité des forces, qui comprend incontestablement tous les phénomènes de nutrition et de développement, qui nous permet de remonter aux véritables origines de la force dont l'animal dispose, peut-il, dans l'état actuel de la science, être légitimement étendu aux *Manifestations psychiques?* Telle est

la question qui divise aujourd'hui les physiologistes, et sur laquelle nous demandons à nous expliquer en toute franchise.

Nous avons dit que les manifestations fonctionnelles d'un organe sont la traduction du travail accompli par l'action simultanée des activités propres de ses éléments histologiques et des conditions extérieures de milieu ambiant. Nous tenons cette proposition pour démontrée, tant qu'il s'agit d'organes tels que le foie, le rein, le pancréas, le muscle, etc. Malgré la différence de *forme*, il y a identité de nature, commune mesure, entre les résultats (formation d'une substance chimiquement définie, pression, poids soulevé, communication de mouvement) auxquels leurs fonctions aboutissent, et les réactions physico-chimiques d'où dérivent les activités des éléments histologiques. Nous en dirons autant du système nerveux considéré dans ses rapports avec les divers organes de l'économie ; pour nous, en effet, l'intervention du système nerveux dans les fonctions de ces organes se borne à une simple modification des conditions au milieu desquelles s'opère le conflit de l'oxygène et des matériaux combustibles du sang.

L'observation pathologique et l'expérimenta-

tion physiologique nous ont appris que les manifestations psychiques cessent d'être normales, régulières, toutes les fois que le cerveau est lésé dans sa composition ou dans sa texture; que même le développement plus ou moins complet des facultés psychiques est, sinon d'une manière absolue, du moins pour une large part, subordonné au volume et à la configuration du cerveau. Nous savons en outre, le fait ne saurait être contesté, que les combustions internes sont plus intenses et les éléments histologiques du cerveau plus actifs, pendant toute la durée de la manifestation psychique. L'organe cérébral *travaille* donc pendant que l'être vivant réfléchit, pense, compare, veut, etc., etc. Ce travail est une *condition* nécessaire, incontestable de la manifestation psychique. En est-il la *cause suffisante?* Voilà la vraie question.

« Ces *efforts* (les manifestations psychiques) considérés comme *purement moraux*, dit Lavoisier, ont *quelque chose de physique et de matériel* qui permet, sous ce rapport, de les *comparer à ceux que fait l'homme de peine.* » Cette belle proposition exprime une analogie, un rapprochement, mais non une *identité;* telle que l'a formulée le génie du créateur de la chimie moderne,

elle est parfaitement exacte. — Le travail effectué dans l'organe cérébral représente le *quelque chose de physique* qu'il signale dans le phénomène psychique. — L'effort de l'homme de peine coïncide aussi avec un travail dans les masses musculaires et, sous ce rapport, est *comparable* à la manifestation psychique qui, elle aussi, est un effort. Mais de cette *ressemblance* incontestable, si justement signalée par Lavoisier, sommes-nous en droit de conclure à l'*identité* de ces deux genres d'effort ?

A toute contraction musculaire correspond un excès de combustion, une production de chaleur, dans l'organe en action ; la contraction aboutit à un travail mécanique extérieur. Le travail *intérieur* (combustion, chaleur dégagée) et le travail *extérieur* (poids soulevé, vitesse communiquée) sont d'*ordre différent*, mais au fond de *même nature*, ont une *commune mesure*. L'observation démontre qu'il y a *équivalence* entre le travail extérieur produit par le muscle et la chaleur consommée, transformée pendant la contraction. — En présence de ces faits, nous n'hésitons pas à l'affirmer : La combustion effectuée dans les capillaires des muscles n'est pas seulement la *condition* de l'effort de l'homme

de peine, c'est la *cause suffisante* de cet effort, c'est la *source* de toute la force développée par les masses musculaires.

Du côté du cerveau, il y a aussi accroissement de l'activité de combustion, production de chaleur; cette chaleur transformée devient activité des éléments histologiques de l'organe ; en même temps, il y a manifestation psychique. Entre ce travail intérieur et l'effort psychique, il y a *coïncidence constante;* le premier est évidemment une *condition* du second. Mais quel rapport autre y a-t-il entre une combustion et une manifestation psychique? quelle *commune mesure* trouver entre une quantité de chaleur consommée, disparue, et une pensée émise ou simplement conçue? Tant que cette commune mesure ne sera pas trouvée, nettement démontrée, nous ne nous sentirons pas autorisé à affirmer que le travail cérébral et la manifestation psychique concomitante diffèrent seulement par la *forme;* que ces deux efforts sont au fond de même nature; que le premier est la *cause suffisante* du second[1]. Sans doute la marche, si

[1] « La science, dit M. le professeur Schiff, ne possède pas un seul fait direct, expérimental, apte à indiquer que la transformation des impressions en perceptions est un phénomène soumis aux lois générales du mouvement. »

rapidement ascendante, de la biologie permet d'espérer que toutes ces obscurités disparaîtront un jour de la science. Guidé par le principe de la réciprocité des forces, nous avons pu nous élever successivement des réactions physico-chimiques accomplies dans les profondeurs de l'économie aux activités propres des éléments histologiques, et de ces activités combinés avec les influences extérieures aux manifestations fonctionnelles de l'être vivant. Mais, avant de tenter un pas de plus dans cette voie, avant de faire un nouvel appel au principe de la réciprocité des forces, nous devons attendre que la question de la légitimité de l'application de ce principe à la recherche des vrais rapports du travail cérébral et de la manifestation psychique concomitante soit définitivement vidée ; l'observation peut seule nous fournir les matériaux nécessaires à la solution de ce difficile problème.

En présence de nos élèves, dans l'amphithéâtre de la Faculté de médecine, après avoir développé les lois générales de la physique et leur avoir fait connaître les principes définitivement établis qui doivent leur servir de guide dans leurs recherches et dans l'interprétation des faits particuliers, nous nous sommes tou-

jours imposé le devoir de leur signaler les points obscurs, les *desiderata* de la science. De si haut qu'elle descende, de quelque bouche qu'elle sorte, une assertion dénuée de preuves n'a au fond d'autre valeur scientifique que celle d'une hypothèse à vérifier. Persuadé que constater une lacune, mettre en relief une difficulté, appeler fortement l'attention sur un problème posé et non résolu, c'est éclairer le présent, et préparer l'avenir en provoquant de nouvelles recherches, nous avons dû préciser ici, comme nous l'avons fait dans nos leçons, les limites au delà desquelles l'état actuel de nos connaissances ne nous paraît pas permettre aux physiologistes d'étendre légitimement la théorie de la transformation des forces. La méthode expérimentale peut seule nous donner une définition nette et complète des rapports de la biologie et des sciences physico-chimiques ; sachons l'interroger sans idées préconçues, et rester fidèles à cette belle devise de Newton :

Hypotheses non fingo.

LES

PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

DE LA VIE

Toutes les fois que, dans le monde médical, il est sérieusement question de *Méthode expérimentale*, des hommes, fort distingués d'ailleurs, s'empressent d'élever la voix pour faire des réserves qui trahissent chez eux une tendance singulière à confondre la *Méthode expérimentale* avec l'*Art d'observer*. Sous ces réserves se cache une erreur grave, et, en même temps, à l'adresse des défenseurs de la méthode expérimentale, une accusation contre laquelle nous devons hautement protester. — Oui, les faits sont la base de tout l'édifice scientifique; oui, tout esprit qui ne veut pas s'exposer à devenir le jouet de vaines illusions et qui aspire à produire

une œuvre durable doit, à chaque instant, se retremper au milieu des faits, puiser de nouvelles forces dans ce contact incessant. — Mais nous savons aussi que, quelque bien observés qu'ils soient, les faits ne sont et ne seront jamais que des matériaux à mettre en œuvre. Une science est constituée par un ensemble de lois générales; ces lois, qui permettent de *connaître* et de *prévoir*, doivent se déduire des faits observés, mais les faits ne sont pas les lois elles-mêmes.

L'art d'observer joue sans doute un grand rôle dans la méthode expérimentale, mais il n'est pas permis de dire que, dans cet art, réside la méthode tout entière. Dans les dernières pages de ses immortels *Principes de philosophie naturelle*, après avoir tracé le merveilleux tableau des lois générales des mouvements des corps célestes, Newton s'adresse à ceux qui auraient pu être tentés de lui reprocher de n'avoir rien dit de la cause de la gravitation, et leur répond en ces termes :

« Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phænomenis nondum potui deducere, et hypotheses non fingo. Quicquid enim ex phænomenis non deducitur, *hypothesis* vocanda est; et hypotheses seu metaphysicæ, seu physicæ, seu qualitatum occultarum, seu mechanicæ, in *philosophia experimentali* locum non habent. In hac philosophia propositiones deducuntur ex phænomenis, et

redduntur generales per inductionem. Sic impenetrabilitas, mobilitas, et impetus corporum et leges motuum et gravitatis innotuerunt. Et satis est quod gravitas revera existat, et agat secundum leges a nobis expositas, et ad corporum cœlestium et maris nostri motus omnes sufficiat[1]. »

Oui, Newton avait raison, et nous devons répéter avec lui : *Satis est*. L'esprit le plus exigeant doit se déclarer satisfait; car, de ces lois par lui découvertes, Newton et ses successeurs ont su faire sortir la mécanique céleste tout entière; ces lois ont suffi à l'homme pour expliquer tous les phénomènes astronomiques découverts depuis, pour déterminer les conditions de stabilité de notre système planétaire, pour pénétrer dans les secrets du monde stellaire. Solidement appuyé sur ces lois générales, un jour un astronome français a pu dire, sans craindre de se tromper : Regardez dans telle direction et vous trouverez au foyer de votre lunette une planète que personne n'a encore vue; sa distance au soleil est égale à trente fois le rayon moyen de l'orbite terrestre, la durée de sa révolution est de 164 ans 6 jours, sa masse est égale à vingt-cinq fois celle de la terre. La méthode féconde qui a conduit à de tels résultats, la méthode qui a imprimé aux sciences d'observation une marche si rapidement

Philosophiæ naturalis principia mathematica, page 530.

ascendante, c'est cette méthode expérimentale dont Newton a si nettement résumé les principes généraux sous le nom de *philosophie expérimentale*. Telle que l'ont comprise et pratiquée les vrais fondateurs de la science moderne, la méthode expérimentale comprend l'expérimentation, l'observation directe, la déduction et l'induction, en un mot cet ensemble d'opérations à l'aide desquelles, de la constatation des phénomènes, l'homme s'élève à la détermination des lois de production et de succession de ces phénomènes eux-mêmes, c'est-à-dire aux lois de manifestation de leurs causes. — Ces quelques lignes, empruntées à Newton, sont l'exposé le plus complet de la véritable philosophie scientifique. Sans doute les procédés d'observation varient suivant la nature des phénomènes à étudier, mais les principes généraux de la méthode expérimentale restent invariables, sont les mêmes pour toutes les branches des connaissances humaines.

C'est qu'en effet, d'un point de vue élevé, toutes les sciences viennent se fondre dans une grande et imposante unité : la science de l'univers. Limité dans le temps et dans l'espace, limité dans ses forces et dans ses facultés intellectuelles, à mesure que le champ de l'observation s'est étendu devant lui et que les faits se sont multipliés, l'homme a dû pratiquer des coupes dans ce vaste et majestueux

ensemble. La nécessité lui a ainsi imposé le fractionnement de la science et, comme conséquence inévitable, la division du travail et de l'enseignement. Il n'est aujourd'hui donné à personne d'embrasser la science tout entière dans ses études; ce n'est pas trop du concours de toutes les intelligences pour féconder cet immense champ de recherches et d'observations. Mais si, jaloux de contribuer utilement pour sa part à l'œuvre collective, chacun de nous doit choisir avec soin sa direction, et plus spécialement consacrer son intelligence et ses efforts à l'étude de telle ou telle branche des connaissances humaines, nous ne devons pas oublier que, conservant l'empreinte de leur origine commune, toutes ces sciences partielles restent solidaires comme parties d'un même tout. Il n'en est pas une seule qui puisse se développer dans l'isolement; chacune d'elles emprunte et rend aux sciences voisines. Ces emprunts ne sont pas des empiétements; ce sont des secours réciproques. Ces emprunts sont une des conditions du progrès.

En s'organisant, la matière ne cesse pas pour cela d'être matière et ne perd aucune de ses propriétés fondamentales. Cependant, en raison de la spécialité de sa composition et de sa texture, cette matière organisée constitue un milieu dont les conditions diffèrent profondément de celles du monde inorganique; en même temps que ses éléments res-

tent fatalement soumis à l'action de tous les agents extérieurs, l'agrégat organisé devient le théâtre de manifestation de modalités dynamiques distinctes. Les activités propres de la fibre musculaire et de la fibre nerveuse ne peuvent être confondues ni avec la chaleur, ni avec l'électricité; le développement de la cellule organique ne saurait être assimilé à la formation et à l'accroissement d'un cristal. La biologie est donc une science indépendante, et, pour l'étude des phénomènes spéciaux caractéristiques de l'état de vie, elle possède des procédés d'observation spéciaux aussi dont nous devons reconnaître hautement l'importance et la puissance. Mais, d'une part, les actes de l'ordre biologique ne s'accomplissent qu'à la condition d'être précédés ou suivis de réactions physiques et chimiques; d'autre part, les échanges sont nécessaires, incessants entre l'être vivant et le milieu ambiant; ajoutons enfin que, pour être évidemment *distinctes*, les activités propres de la fibre vivante n'en ont pas moins avec les forces du monde inorganique des rapports étroits, incontestables, dont la connaissance est indispensable au physiologiste[1]. Sachons donc le recon-

[1] « Nous distinguons aujourd'hui, dit M. C. Bernard, trois ordres de propriétés manifestées dans les phénomènes des êtres vivants : *propriétés physiques, propriétés chimiques* et *propriétés vitales*. Cette dernière dénomination de *propriétés vitales* n'est elle-même que *provisoire;* car nous appelons *vitales les propriétés organiques que*

naître, si la biologie est la plus importante, la plus élevée de toutes les sciences, c'est en même temps la plus étendue; c'est donc aussi celle dont les rapports et les points de contact avec les sciences voisines sont les plus multipliés et les plus intimes.

Fixons notre attention sur les phénomènes accomplis dans le réseau des capillaires généraux, sur les mutations si nombreuses et si variées qui accompagnent le double mouvement d'assimilation et de désassimilation. Sans doute il se produit là un grand travail biologique spécial dont le but est la *nutrition*. Mais les matériaux du sang pénètrent

nous n'avons pas encore pu réduire à des considérations physico-chimiques; mais il n'est pas douteux qu'on y arrivera un jour. » — Dans ce passage de son *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, page 161, M. C. Bernard appelle *propriété vitale* ce que nous appelons *activité propre* de l'élément histologique. Toutes ces *activités* ou *propriétés* ont un caractère de spécialité qui leur est communiqué par la spécialité de composition et de texture des éléments histologiques eux-mêmes, et que, par cela même, rien ne saurait leur enlever. Nous essayerons de démontrer, dans le cours de notre travail, que toutes ces propriétés vitales *dérivent, par voie de transformation*, des réactions physico-chimiques accomplies dans les profondeurs de l'économie; mais, bien que *dérivées* des modalités dynamiques du monde extérieur, ces *propriétés vitales* n'en ont pas moins une *forme spéciale indélébile*, et, par suite, leurs lois de manifestation sont nécessairement différentes de celles de la chaleur, de l'électricité, de l'affinité, etc. Nous ne pouvons donc pas concéder à M. C. Bernard que les *activités propres*, ou *propriétés vitales*, des éléments histologiques puissent jamais être *réduites à des considérations physico-chimiques*. Le jour où cette *réduction* aurait lieu, la physiologie aurait complétement perdu son autonomie; elle ne serait lus qu'un chapitre d'un traité général de physique et de chimie.

dans les capillaires à l'état de matières ternaires et albuminoïdes, et en sortent à l'état d'acide carbonique, d'eau et de matières azotées de composition simplifiée; il s'est donc aussi accompli là un travail chimique : une *combustion*. Mais, à sa sortie des capillaires généraux, le sang a une température plus élevée qu'à son entrée; il s'est donc aussi accompli là un traval physique : une *production de chaleur*. Biologique, chimique et physique, tel est donc le triple travail qui se produit forcément pendant le grand acte de l'assimilation et de la désassimilation dans la profondeur de tous les tissus, de tous les organes de l'économie. De ces trois travaux, nous ne voulons pas chercher, pour le moment, quel est celui qui domine et commande les autres; il nous suffit, pour notre thèse actuelle, qu'ils soient contemporains, que chacun d'eux soit indispensable à la nutrition, à l'entretien de la vie du tissu et de la fonction de l'organe. Biologique, chimique et physique, tel est donc aussi le triple point de vue où nous devons nous placer pour comprendre dans son ensemble le travail accompli dans les capillaires généraux. — A chaque pas, dans les études biologiques, nous rencontrons des questions de même nature; n'oublions pas que, pour procéder avec fruit à la recherche de la solution de ces problèmes difficiles, il y a nécessité de recourir aux lumières fournies par les sciences physico-chimi-

ques. Proclamer la légitimité de cette alliance, c'est assurer le progrès.

A toutes les époques, il s'est rencontré des esprits chagrins et parfois même des hommes de génie qui, se faisant une fausse idée des véritables rapports des êtres vivants et du milieu ambiant, ont tenté d'isoler la biologie des autres branches des connaissances humaines, ont voulu la condamner à tout tirer de son propre fonds. Toujours combattues et sans cesse renaissantes, ces tendances ne s'avouent pas encore vaincues et, de temps en temps, font explosion au milieu de nous. Il nous semble pourtant qu'un rapide coup d'œil jeté, en passant, sur l'histoire de nos quarante dernières années suffirait pour démontrer la fausseté de ces doctrines exclusives et l'inanité de semblables prétentions.

Que savions-nous, en effet, de l'embryogénie, des éléments organiques des tissus et de leur mode de groupement avant que l'emploi du microscope fût définitivement adopté? Avant l'intervention de la physique et de la chimie, que savions-nous des mutations des matériaux organiques de l'économie, de la digestion, du lieu et des agents de transformation des matières amylacées, des matières grasses et des matières albuminoïdes? Que savions-nous des fonctions des glandes, de la glycogénie, du rôle des divers principes alimentaires et de leurs équivalents nutritifs? Au solidisme exclusif nous opposions tou-

jours et avec raison le rôle méconnu des humeurs de l'économie ; que savions-nous de la composition normale de l'urine et du sang et de leurs altérations pathologiques avant que la physique et la chimie eussent passé par là ?

Il y a quarante ans, on disait, on écrivait partout : La physiologie est le roman de la médecine. Qui oserait répéter cela aujourd'hui que, grâce à l'intervention de la physique et de la chimie, la physiologie est devenue enfin une science constituée?

En présence des services éclatants rendus, dans ces dernières années, par les sciences physico-chimiques à toutes les branches de la biologie, prolonger des discussions de cette nature serait inutile et par cela même déplacé. Tout le monde doit le comprendre aujourd'hui : isoler la biologie serait la condamner à l'immobilité, et quand tout marche autour de nous, s'arrêter serait reculer. A ceux qui choisiraient un pareil moment pour renouveler une opposition dès longtemps condamnée par la raison et par les faits, à ceux qui essayeraient de limiter la science dans ses moyens de développement, contentons-nous de répondre :

Vous avez tenté de planter des bornes sur notre passage : le flot de la science moderne, faible à son origine, les a d'abord modestement contournées ; vous l'avez vu passer et vous avez détourné la tête avec dédain. A l'heure qu'il est, le flot a grossi ; vos

bornes sont submergées. Demain elles seront arrachées et violemment entraînées par le courant. Bientôt on ne s'occupera de ces vaines oppositions que pour venir, en archéologue, rechercher les traces effacées d'une résistance impie et impuissante à la marche librement ascendante de l'esprit humain.

C'est vainement qu'on tenterait de nous faire rétrograder vers l'époque où, relevant la bannière du vitalisme, pour réagir contre l'école de Boerhaave, Bichat écrivait dans son *Anatomie générale :* « Comme les sciences physiques ont été perfectionnées avant les physiologiques, on a cru éclaircir celles-ci, en y associant les autres ; on les a embrouillées, c'était inévitable... Laissons à la chimie son affinité, à la physique son élasticité, sa gravité : n'employons pour la physiologie que la sensibilité et la contractilité. » On se demande avec étonnement, comment l'immortel auteur des *Recherches sur la vie et la mort* put s'arrêter un instant à la pensée de séparer complétement la science de la vie des phénomènes du monde inorganique. Ses doctrines vitalistes exercèrent une puissante influence sur ses contemporains, justement éblouis par la grandeur de ses travaux et de ses découvertes; mais leur triomphe fut de courte durée. — Préparés par de fortes études scientifiques, dégoûtés des vaines et stériles discussions de mots, rangés sous la bannière de la méthode expérimentale, convaincus de la solidarité de toutes les

connaissances humaines, les physiologistes de nos jours comprennent tout le parti qu'ils peuvent tirer, dans leurs études, des lumières fournies par la physique et par la chimie ; ils sont ainsi rentrés dans la voie si féconde, que leur avait si largement ouverte le grand mouvement scientifique des dernières années du dix-huitième siècle.

A cette époque mémorable, Lavoisier venait de poser les bases de la chimie moderne ; appliquant aux questions de physiologie les idées générales et les procédés d'investigation dont il avait enrichi la science, il analysa, avec une précision jusque-là inconnue, les phénomènes de la respiration et découvrit les véritables sources de la chaleur animale. Son œuvre resta fatalement inachevée, mais assez avancée cependant, pour montrer combien sont intimes et multipliés les rapports de la physiologie et des sciences physico-chimiques. Malgré l'immense et légitime autorité du nom de leur auteur, ces travaux furent accueillis par les physiologistes avec une grande réserve et même avec une certaine défiance ; près d'un demi-siècle s'écoula sans que de nouvelles recherches fussent sérieusement entreprises dans cette direction.

C'est à MM. Dumas et Boussingault en France et à M. Liebig en Allemagne, que revient l'honneur d'avoir retiré les doctrines de Lavoisier de l'oubli où elles étaient tombées. Leurs travaux ont imprimé

une puissante impulsion aux jeunes générations ; autour de ces maîtres éminents, s'est formée, en peu d'années, une école dont les recherches ont puissamment contribué aux progrès de la physiologie. C'est qu'en effet, à quelque point de vue qu'on se place, on est forcé de reconnaître que, dans l'histoire des êtres organisés, il y a de nombreux et importants problèmes dont on ne saurait trouver la solution en dehors de la voie tracée par Lavoisier. Parmi ces questions qui exigent le concours des sciences physico-chimiques, viennent évidemment se placer au premier rang la détermination des rapports de l'être vivant avec le monde inorganique, et la recherche de la part pour laquelle les grands agents de la nature interviennent dans l'accomplissement des phénomènes de la vie.

L'analyse microscopique et l'analyse chimique pratiquées avec persévérance ont permis de suivre toutes les phases du développement de l'être organisé. Ainsi ont pu être étudiées, déterminées, les principales mutations que subit la matière pour s'élever de l'état minéral à l'état de substance organisable et retourner définitivement à son état minéral primitif, en même temps que les origines des principes organiques et minéraux, la composition des liquides et la texture des éléments histologiques des végétaux et des animaux. Cette branche de la biologie est très-avancée et, si toutes les difficultés

ne sont pas encore levées, du moins les principes généraux de la science sont définitivement établis.

Mais, dans l'économie, les éléments histologiques ne sont pas à l'état statique ; tous participent au mouvement vital ; chacun d'eux accomplit un travail spécial dans les actes si multiples et si variés de la nutrition. D'où dérive, d'où leur vient ce principe d'activité ? Quels sont ses rapports avec les agents du monde extérieur ? Ces questions se retrouvent forcément au fond de tout problème de biologie, s'imposent d'elles-mêmes à tout esprit sérieusement appliqué à l'étude des phénomènes de la vie ; toutes les écoles physiologiques les ont successivement agitées, en ont vainement cherché la solution. Il y a donc nécessité de soumettre ces grandes questions à un nouvel et sérieux examen ; le moment nous paraît venu de se demander si, malgré leur incontestable spécialité, les activités propres des éléments histologiques de l'agrégat organisé ne dérivent pas, *par voie de transformation*, des agents du monde extérieur, des réactions physico-chimiques accomplies dans les profondeurs de l'économie.

PREMIÈRE SECTION

CIRCULATION DE LA MATIÈRE

Par leur aspect, par leur texture, par leurs propriétés, les substances qui entrent dans la composition des êtres organisés, plantes et animaux, se séparent complétement des corps appartenant au monde minéral ; et cependant, quand on les soumet à l'analyse, on s'assure que toutes ces matières organiques sont produites par des combinaisons en proportions diverses de quatre éléments ou corps simples de nature minérale : l'oxygène, l'azote, le carbone, et l'hydrogène. — L'oxygène et l'azote, mélangés dans des proportions déterminées, forment l'*air*, cette masse gazeuse qui nous enveloppe de toutes parts. — Le carbone, si abondant dans le corps de tous les êtres vivants, est identique à celui que nous brûlons dans nos foyers ; combiné avec l'oxygène, il

produit un gaz irrespirable, l'*acide carbonique*, répandu en très-grande quantité dans la nature, et partie constituante de notre atmosphère. — L'*eau*, si longtemps considérée comme un élément, est en réalité un composé d'hydrogène et d'oxygène ; enfin, en se combinant avec l'azote, le gaz hydrogène donne naissance à l'*ammoniaque*, dont on retrouve normalement des traces dans l'atmosphère et qui forme la base de tous les engrais. — Ajoutons enfin que le sol contient tout formés les sels minéraux, qui jouent un rôle si important dans la nutrition des êtres organisés ; c'est aussi de cette source que proviennent le soufre et le phosphore qui entrent en proportions variables, mais nécessaires, dans la composition de certaines matières azotées.

Il reste donc établi que la terre, l'air, l'acide carbonique, l'eau et l'ammoniaque contiennent tous les principes élémentaires nécessaires pour constituer les tissus, les organes des êtres vivants et toutes les substances organiques et minérales tenues en suspension ou en dissolution dans leurs sucs propres.

Par ses racines et par ses feuilles, la plante fait de continuels emprunts à la terre et à l'atmosphère ; ces deux grands réservoirs de matière minérale lui fournissent tous les éléments nécessaires à son développement, sous forme d'eau, de sels minéraux, d'oxygène, d'acide carbonique et d'ammoniaque. Dans les *parties vertes* du végétal et *sous l'influence*

de la lumière solaire, l'acide carbonique est attaqué, réduit ; son oxygène est rendu à l'atmosphère, tandis que son carbone est engagé dans de nouvelles combinaisons avec les éléments de l'eau et de l'ammoniaque. Par ce travail intérieur, la plante fabrique de toutes pièces ses tissus et ses sucs propres ; avec ces matériaux de nature minérale, elle produit les substances organiques, telles que l'amidon, les huiles, les sucres, les gommes, etc., qui ne se composent que d'oxygène, de carbone et d'hydrogène, et ces matières organiques plus complexes qui, telles que le gluten, contiennent à la fois de l'oxygène, du carbone, de l'hydrogène et de l'azote. — Depuis l'humble mousse fixée aux flancs des rochers, jusqu'aux végétaux élégants qui sont l'ornement de nos serres et de nos jardins, jusqu'aux arbres gigantesques de nos forêts, toute plante est donc un laboratoire de synthèse organique en activité tant que le soleil la réchauffe et l'anime de ses rayons. — En résumé, emprunter à la terre et à l'atmosphère des matériaux de nature minérale, les modifier, les décomposer, engager leurs éléments dans des combinaisons de plus en plus complexes, fabriquer ainsi de la matière organique, telle nous apparaît la véritable fonction de la plante.

L'observation démontre, en effet, que les matériaux utilisés par la plante pour se constituer et s'accroître sont tous minéraux et fournis par le sol et

l'atmosphère. Ce sont : de l'eau, des sels minéraux, des bases minérales, de l'oxygène, de l'acide carbonique, de l'ammoniaque. Avec les éléments de ces substances minérales la plante forme :

1° Les principes azotés ou albuminoïdes : albumine, fibrine, caséine végétales, glutine, légumine, amandine, caféine, théine, théobromine, etc. ;

2° Les matières organiques moins complexes et qui ne contiennent pas d'azote : la cellulose ; les principes amyloïdes, amidons, fécules, lichénine, inuline, dextrine ; les principes sucrés, glycose, sucre de canne, sucre de fruits ; les gommes arabique, adragante, etc. ; les matières pectiques, pectose, pectine, etc. ; les huiles fixes d'olives, d'amandes douces, de noix, de lin, etc. ; les graisses végétales ; les beurres de cacao, de muscade, de coco, etc. ; les diverses cires végétales.

Indépendamment de ces substances qui servent de matières alimentaires aux animaux, les plantes contiennent encore :

1° Des matières organiques formées de toutes pièces, les unes azotées, les autres non azotées : les alcaloïdes, la chlorophylle, les substances colorantes, les huiles volatiles et essentielles, les acides organiques combinés avec les alcaloïdes ou avec des bases minérales ;

2° De l'eau et des sels minéraux que le végétal trouve tout formés dans le sol.

Soumis à des conditions d'existence et de développement différentes de celles de la plante, l'animal contracte de tout autres rapports avec le monde extérieur. Il emprunte à l'air ambiant de l'oxygène qui pénètre par ses surfaces respiratoires et se mêle à son sang ; il trouve, dans cette masse de matières organiques accumulées dans les végétaux, un dépôt tout préparé d'avance de substances alimentaires.

L'animal s'empare de ces matières organiques, les modifie par la digestion, les absorbe, les fait pénétrer dans ses vaisseaux, où elles se trouvent en présence de l'oxygène introduit par les voies respiratoires. Une partie de ces aliments reste dans l'économie, sert au renouvellement des tissus, remplace les éléments usés par le jeu des organes et qui, devenus impropres à l'entretien des fonctions, doivent être rejetés au dehors ; le reste est attaqué par l'oxygène, soumis à une combustion lente, et finalement rendu au monde extérieur sous forme d'eau, d'acide carbonique, d'azote et de matières azotées de composition simplifiée. Ajoutons d'ailleurs que, si nous trouvons, dans les liquides et les tissus des animaux, des matières organiques spéciales qui n'existent pas dans les végétaux, ces substances n'ont pas été formées là de toutes pièces, mais dérivent toutes, par voie de simplification, des aliments empruntés au règne végétal.

L'oxygène emprunté à l'atmosphère par les sur-

faces respiratoires, et les éléments nutritifs fournis par les substances alimentaires élaborées dans les voies digestives, se mêlent dans le sang aux produits de la désassimilation, destinés à être rejetés hors de l'économie. Il suffit d'un coup d'œil rapide jeté sur la composition de ce liquide, à la fois réparateur et épurateur, pour saisir l'ensemble des modifications que l'animal fait subir aux matières organiques préparées par les végétaux. L'analyse permet de constater dans le sang :

1° *Des principes albuminoïdes :* albuminose, albumine, fibrine, caséine, hémato-globuline. — Ces substances sont plus spécialement destinées à la rénovation des tissus des animaux, et fournissent aussi les principes azotés caractéristiques des sécrétions récrémentitielles. — Les albuminoïdes peuvent être brûlés directement dans les capillaires généraux, ou après avoir été préalablement incorporés à la trame organique. Une combustion complète les ramène à l'état d'eau, d'acide carbonique et d'azote. Plus généralement ces substances albuminoïdes n'éprouvent qu'une combustion incomplète et sont transformées en urée, acide urique, acide hippurique, créatine, créatinine, acide sudorique, acide inosique, etc., tous produits azotés éliminés presque en totalité par les reins, et en très-faible proportion par la peau.

2° *Des principes gras :* oléine, margarine, stéarine, cholestérine, séroline, matière grasse phosphorée,

oléates, margarates et stéarates de soude. — Ces matières grasses servent surtout à la calorification, sont brûlées dans le torrent circulatoire et ramenées à l'état d'acide carbonique et d'eau ; elles peuvent aussi éprouver une combustion incomplète et fournir des produits intermédiaires : acides acétique, butyrique, formique, valérique, etc., éliminés surtout par la peau. — Les principes gras ne sont pas tous ainsi détruits ; ils sont en partie retenus dans l'économie, soit pour former dans le tissu adipeux des dépôts de matières combustibles, soit pour entrer dans la composition de certains tissus, et en particulier du tissu nerveux si riche en phosphore et en matières grasses.

3° *Des principes sucrés :* Dextrine, glycose. — Comme les matières grasses, les sucres sont essentiellement des éléments respiratoires. La combustion complète les transforme en acide carbonique et en eau. Les substances sucrées fournissent aussi des produits dérivés : le sucre modifié, l'inosite qu'on rencontre dans les muscles, l'acide lactique qui, combiné à la soude, s'échappe par la peau ou est transformé en carbonate alcalin par une combustion complète. — Dans l'économie, les sucres peuvent être transformés en matière grasse. — Enfin, M. Rouget a démontré que le principe sucré peut jouer le rôle d'élément réparateur et que, transformé en zooamiline ou matière glycogène, il prend part

à la formation et à la constitution des cellules organiques et de certains tissus animaux.

M. C. Schmidt a signalé, dans le manteau des tuniciers et dans les ascidies, la présence d'une substance ternaire de même composition que la cellulose, qu'il a appelée la *tunicine*. M. Berthelot, en traitant cette matière par l'acide sulfurique concentré et en soumettant le liquide étendu d'eau à l'ébullition, a transformé la *tunicine* en glucose fermentescible.

Ajoutons enfin, que les boissons et les aliments solides empruntés au règne végétal fournissent à l'animal l'eau et tous les sels minéraux nécessaires au jeu de ses fonctions et à la constitution de ses tissus et de ses humeurs[1].

Il résulte évidemment de cette étude comparative que la faculté d'agir directement sur la matière minérale, de la faire passer par cette série de combinaisons successivement plus compliquées qui la transforment en matière organique, appartient exclusivement au végétal. — L'animal se nourrit de substances organiques, les brûle, leur fait parcourir, en sens inverse, la série des modifications accomplies dans le végétal, les simplifie graduellement et les ramène à leur état minéral primitif. — Ainsi se trouve nettement défini le rôle de la matière dans les manifes-

[1] Voy. aux Documents, I.

tations si diverses de la vie. Entraînée dans une véritable circulation, elle change sans cesse de forme et de place sans jamais rien perdre de son poids ; à l'état minéral, elle est empruntée à la terre et à l'atmosphère par la plante, qui l'organise ; ainsi transformée en principes alimentaires, elle pénètre dans l'animal, qui la modifie à son tour, la ramène à sa forme primitive, et la restitue au monde extérieur.

Lavoisier avait de bonne heure compris toute l'étendue et toute l'importance des rapports du règne organique et du règne minéral ; ses vues à ce sujet sont consignées dans le programme d'un prix proposé pour 1794, par l'Académie des sciences [1].

« Les végétaux, dit-il, puisent dans l'air qui les environne, dans l'eau et en général dans le règne minéral, les matériaux nécessaires à leur organisation.

« Les animaux se nourrissent ou de végétaux ou d'autres animaux, qui ont été eux-mêmes nourris de végétaux ; en sorte que les matériaux dont ils sont formés sont toujours, en dernier résultat, tirés de l'air et du règne minéral.

« Par quels procédés la nature opère-t-elle cette *circulation* entre les trois règnes ? Comment parvient-elle à former des substances fermentescibles, com-

[1] *Histoire de l'Académie des sciences*, 1789, p. 24.

bustibles [1] et putrescibles, avec des matériaux qui n'ont aucune de ces propriétés ?

« La cause et le mode de ces phénomènes ont été jusqu'à présent enveloppés d'un voile presque impénétrable. On entrevoit cependant que, puisque la putréfaction et la combustion sont les moyens que la nature emploie pour rendre au règne minéral les matériaux qu'elle en a tirés pour former des végétaux et des animaux, la végétation et l'animalisation doivent être des opérations inverses de la combustion et de la putréfaction.

« C'est dans toute l'étendue du canal intestinal que s'opère le premier degré d'animalisation, ou la conversion des matières végétales en matières animales. Les aliments reçoivent une première altération dans la bouche par le mélange avec la salive; ils en reçoivent une seconde dans l'estomac par leur mélange avec le suc gastrique; ils en reçoivent une troisième par leur mélange avec la bile et le suc pancréatique. Convertis ensuite en chyle, une partie passe dans le sang, pour réparer les pertes qui s'opèrent continuellement par la respiration et la transpiration; enfin la nature rejette, sous forme

[1] « Il est très-remarquable que les *substances minérales combustibles* se trouvent le plus souvent *brûlées,* ou au moins engagées dans des combinaisons où elles sont *peu combustibles,* et que les végétaux les *séparent* et se les *approprient* pour former leurs *matières inflammables.* » (Cette note si remarquable est aussi de Lavoisier.)

d'excréments, tous les matériaux dont elle n'a pu faire emploi. Une circonstance remarquable, c'est que les animaux qui sont dans l'état de santé, et qui ont pris toute leur croissance, reviennent constamment chaque jour, à la fin de la digestion, au même poids qu'ils avaient la veille, dans des circonstances semblables; en sorte qu'une somme de matière égale à ce qui est reçu dans le canal intestinal se consume et se dépense, soit par la transpiration, soit par la respiration, soit enfin par les différentes excrétions. »

Comprenant que le sujet est trop vaste pour un sujet de prix, Lavoisier engage les compétiteurs à fixer spécialement leur attention sur le rôle du foie et de la bile. Il est curieux de voir avec quelle sûreté et quelle puissance d'intuition il analyse les fonctions *connues* et il signale les fonctions *probables* du foie.

« L'Académie, ajoute-t-il, ne croit pas devoir présenter aux concurrents tout ce plan de travail sur l'animalisation pour le sujet d'un seul prix; elle sait qu'il exige une suite immense de recherches, qui ne sont peut-être pas susceptibles d'être faites par un seul homme, et surtout dans le temps qu'elle peut fixer pour ce concours ; elle a donc cru qu'elle pouvait choisir un des principaux traits de l'animalisation, et, dans l'intention de les parcourir les uns après les autres, elle a d'abord fixé

son attention sur l'influence du foie et de la bile.

« On sait que le foie occupe une grande place dans le corps de l'homme et des animaux; qu'une partie du système vasculaire abdominal est destinée à ce viscère; que le sang y est disposé d'une manière particulière pour la sécrétion de la bile; que l'écoulement de cette humeur doit se faire avec constance et régularité pour l'intégrité de toutes les fonctions; que le foie existe dans tous les ordres d'animaux, jusqu'aux insectes et aux vers; qu'il est ou accompagné ou destitué de vésicule du fiel, suivant la nature de ces êtres; qu'il y a des rapports essentiels entre la rate, le pancréas et le foie : voilà les premières données que l'anatomie offre depuis longtemps aux spéculations des physiologistes; mais elles ont été jusqu'à présent presque stériles en applications : on s'est presque uniquement borné à considérer les usages de la bile dans la digestion. Cependant, des découvertes récentes sur la nature de cette humeur et de sa partie colorante, sur les concrétions biliaires, sur le parenchyme du foie, sur la composition huileuse de ce viscère, appellent toute l'attention des physiciens. Il est facile de prévoir qu'*outre la sécrétion de la bile*, ou plutôt qu'avec la sécrétion de la bile, un appareil organique aussi important par sa masse, par ses connexions, par sa disposition vasculaire, que l'est celui du foie, remplit *un système de fonctions dont*

la science n'a point encore embrassé l'ensemble.

« L'Académie apprécie l'étendue de ce sujet; mais elle connaît en même temps les succès des sciences modernes; elle connaît le zèle de ceux qui les cultivent, et qui sont destinés à en agrandir le domaine; elle est persuadée qu'il est temps d'aborder les questions compliquées que présentent les phénomènes de l'économie animale, et que c'est de *la réunion des efforts de la physique, de l'anatomie et de la chimie qu'elle peut se promettre maintenant la solution de ces grandes questions.* »

En même temps qu'elle inspire l'admiration la plus profonde pour le génie de Lavoisier, la lecture de ces pages éloquentes montre combien il est regrettable que, entraînés par l'autorité de Bichat, les physiologistes se soient si longtemps écartés de la voie féconde si largement ouverte devant eux par l'immortel créateur de la chimie.

Dans leurs rapports avec l'atmosphère, le végétal et l'animal sont donc en antagonisme continuel. — La plante emprunte incessamment de l'acide carbonique à l'air, le décompose, retient son carbone, s'en nourrit et lui rend un volume égal d'oxygène. Sous l'influence de la végétation, l'atmosphère tend donc à se dépouiller de tout son acide carbonique et à devenir plus riche en oxygène. — L'animal, au contraire, s'empare de l'oxygène de l'air, le combine avec les matériaux or-

ganiques de son sang, et exhale par ses surfaces respiratoires un volume à peu près équivalent d'acide carbonique. L'observation pouvait seule nous faire connaître le résultat final de ces actions incessantes et antagonistes. Or, les belles recherches de MM. Dumas et Boussingault et de leurs élèves nous ont démontré que la composition de l'atmosphère est sensiblement la même sur tous les points du globe, et que si les proportions de ses trois principes fondamentaux (oxygène, azote, acide carbonique) ne sont pas rigoureusement constantes, elles n'éprouvent que des oscillations comprises dans des limites extrêmement restreintes. Le développement et la distribution des êtres organisés sont donc arrivés à un état tel, que l'action comburante des animaux contre-balance l'action réductrice des végétaux; de la simultanéité de ces deux activités, résulte l'équilibre mobile dans lequel se maintient la composition de notre atmosphère[1].

Il n'en a certainement pas toujours été ainsi. — La plante languirait dans une atmosphère riche en oxygène et qui ne lui fournirait pas la quantité d'acide carbonique nécessaire à son développement; sans surcharger l'air ambiant d'une quantité d'acide carbonique assez considérable pour compromettre l'existence des animaux, il suffirait d'augmenter la

[1] Voy. aux Documents, II.

proportion actuelle de ce gaz pour surexciter l'activité de la végétation. Ces faits, dont l'expérience de tous les jours nous démontre l'exactitude, ont éclairé d'une vive lumière l'histoire des premières manifestations de la vie à la surface de notre planète.

A l'origine des choses, notre terre était un globe incandescent circulant dans l'espace; après plusieurs milliers de siècles de refroidissement graduel, elle se recouvrit d'une couche solide, et les eaux, jusque-là suspendues dans l'atmosphère, se précipitèrent à sa surface. La géologie ne laisse aucun doute à ce sujet; la distribution et l'étendue relative des eaux et des continents n'étaient pas à ces époques reculées ce qu'elles sont de nos jours; la terre ferme était constituée par des archipels disséminés dans une mer immense. La croûte solide n'avait encore qu'une faible épaisseur et n'offrait qu'une faible résistance aux réactions de la masse intérieure incandescente, s'entr'ouvrait facilement et se prêtait à l'établissement de nombreux volcans dont les bouches vomissaient des torrents d'acide carbonique dans une atmosphère très-humide que l'action du feu central entretenait à une température élevée et à peu près uniforme de l'équateur aux pôles.

Dans ces conditions, si favorables à la végétation, la terre se couvrit d'immenses forêts d'arbres

sans fleurs et au large feuillage, parmi lesquels nous nous contenterons de signaler ces fougères arborescentes qu'on ne rencontre plus qu'exceptionnellement dans les régions à température modérée et qui ne se développent en grande abondance que dans les climats chauds et humides des îles intertropicales. Des recherches incomplètes avaient conduit à admettre qu'à ces époques reculées, l'air était trop chargé d'acide carbonique pour permettre aux animaux d'exister. La géologie a rectifié cette erreur longtemps accréditée; elle a montré que le règne animal est contemporain du règne végétal. Les premiers animaux se développèrent au sein des mers. Les forêts, à leur tour, se peuplèrent d'animaux à respiration aérienne, d'insectes et de reptiles aux formes étranges, dont les restes ont été retrouvés mêlés à ceux des végétaux fossiles.

Cependant les vastes et puissantes forêts dont la terre était recouverte exerçaient sur l'air une action énergique et modifiaient profondément sa composition. Elles lui empruntaient incessamment son acide carbonique, lui rendaient un volume égal d'oxygène et fixaient le carbone dans leur intérieur; elles épuraient ainsi graduellement l'atmosphère et créaient autour d'elles des conditions plus favorables au développement des animaux. Ces arbres primitifs ont successivement disparu : en-

tassés sur place, ou arrachés par des courants et entraînés jusqu'aux embouchures des grands fleuves, enfouis profondément dans le sol, ils ont subi des modifications analogues à celles qui transforment en tourbe les plantes de nos jours. C'est ainsi que, par l'intermédiaire de ces forêts primitives, le carbone, d'abord si abondamment répandu dans l'atmosphère, est passé dans le sein de la terre et est venu constituer ces vastes dépôts de matière combustible, connus sous le nom de *houillères*, dont l'homme a su se faire un si puissant auxiliaire pour développer son industrie et étendre sa domination sur le monde extérieur.

SECONDE SECTION

CIRCULATION DE LA FORCE

Entraînée dans un mouvement circulaire, changeant sans cesse de forme pour s'associer aux manifestations si diverses de la vie, la matière, sans jamais rien perdre de son poids, passe du monde minéral dans la plante, de la plante dans l'animal, et retourne de l'animal au monde minéral. En présence de ces résultats désormais acquis, deux grandes questions s'imposent d'elles-mêmes à l'esprit de l'observateur : — Où la plante puise-t-elle la force nécessaire pour opérer ce travail intérieur qui transforme la matière minérale en matière organique ? — Quel est pour l'animal le résultat de ce travail de sens contraire, effectué dans la profondeur de ses tissus, par lequel la matière organique, successivement simplifiée, est définitivement ramenée à sa

forme minérale primitive et rendue au monde extérieur?

La nouvelle école physiologique a parfaitement compris que les sciences physico-chimiques peuvent seules fournir la solution de ces deux beaux problèmes. D'où la nécessité, avant de pousser plus loin cette étude, d'exposer succinctement les principes qui doivent nous servir de guide.

Dès le début de ses recherches, Lavoisier s'assura qu'au milieu des modifications si variées, si profondes, qu'on peut lui faire subir, la matière conserve constamment le même poids. Les actions mécaniques, physiques et chimiques peuvent sans doute changer la forme, l'aspect extérieur, la consistance, la densité, l'état physique des corps, modifier leur mode d'agrégation, déterminer de nouvelles combinaisons de leurs éléments ou détruire ces combinaisons; mais, au milieu de ces mutations si nombreuses, si importantes, leur poids reste inaltéré. Tout est contingent dans la matière, excepté le poids, qui est son caractère essentiel : *rien ne se crée, rien ne se perd dans la nature.* Tel est le principe fondamental qui, mis en pleine lumière par Lavoisier et adopté par ses successeurs, a changé en quelques années la face de la science, et a permis aux physiologistes de déterminer le véritable rôle de la matière dans les phénomènes de la vie.

CHAPITRE PREMIER

DE LA FORCE DANS LE MONDE INORGANIQUE

Dans ces dernières années, une étude plus attentive et plus complète des grands agents de la nature et de leurs rapports réciproques a permis aux physiciens d'étendre à la *force* le principe : « rien ne se crée, rien ne se perd, » que Lavoisier n'avait appliqué qu'à la *matière*. — Il suffit, en effet, d'avoir vu fonctionner une machine à vapeur pour demeurer convaincu que, si une simple action mécanique, telle que le choc et le frottement, peut produire de la chaleur, à son tour, la chaleur peut être utilisée comme force motrice. — D'autre part, l'expérience de tous les jours démontre que le frottement, la chaleur, l'action chimique sont des moyens de produire de l'électricité, et que réciproquement l'électricité peut, à volonté, être employée pour produire des déplacements de corps, de la chaleur et des actions chimiques. — Ajoutons enfin que si l'action chimique est entre nos mains la source la plus usitée et la plus puissante de chaleur, tous les jours, dans nos laboratoires, nous avons recours à la cha-

leur pour accroître l'énergie et même déterminer la manifestation des actions chimiques. — Ces faits, connus de tout le monde, suffisent pour démontrer l'existence d'un lien de solidarité entre les forces mécaniques, les forces chimiques et les forces physiques que nous étudions sous les noms de chaleur, d'électricité, etc. — Depuis longtemps, et surtout depuis l'invention de la machine à vapeur, les esprits étaient vivement préoccupés des rapports de la chaleur et du travail mécanique ; c'est seulement en 1842 que, dans son remarquable travail *sur les forces de la nature inanimée*, le docteur M.-J.-R. Mayer, de Heilbronn, posa nettement la question de *l'équivalence du travail et de la chaleur*. Repris et soumis au creuset de l'expérience directe par M. Joule, développé par MM. Clausius, Macquorn Rankine, William Thompson, Helmholtz, etc... le principe posé par Mayer est devenu le point de départ et la base de cette *théorie mécanique de la chaleur*, qui est une des plus belles conquêtes de la science moderne.

Un phénomène est un changement quelconque survenu dans l'état d'un corps ; c'est un mouvement, ou l'effet d'un mouvement. — Mais la matière est *inerte;* un corps actuellement à l'état de repos ne peut pas, de *lui-même*, se mettre en mouvement ; un corps ne peut pas non plus modifier, de *lui-même*, le mouvement qui lui a été imprimé. — Toute communication ou modification de mouvement suppose

donc l'action d'une cause ; on donne le nom de *Force* à toute *cause de mouvement* ou de *modification de mouvement*. — Ainsi la cause, inconnue dans son essence et si bien étudiée dans ses effets, qui détermine la chute des corps à la surface de la terre et maintient les planètes dans leurs orbites, est une *Force*. — La *chaleur* qui dilate les corps et les fait successivement passer d'un état physique à l'autre ; — l'*affinité* qui sollicite l'une vers l'autre et retient intimement unies deux molécules de nature diverse ; la *cohésion* qui, par une série d'oscillations graduellement décroissantes, ramène la lame d'acier à la position d'équilibre dont elle a été écartée ; — le *courant électrique* qui sépare les éléments des composés chimiques les plus stables et communique au fer doux la propriété d'attirer, de soulever des masses de fer ou d'acier, etc., etc., sont autant de *Forces mécaniques*, *physiques* ou *chimiques* dont nous devons chercher à déterminer les rapports.

Étant donnée une *force mécanique*, on peut toujours l'équilibrer, la neutraliser par *un poids agissant en sens contraire sur le même point*. L'action de ce poids est évidemment de *même intensité* que la force ; *ce poids est donc la mesure de la force équilibrée*, et l'on peut toujours *évaluer ainsi en kilogrammes l'intensité d'une force mécanique*. — Dans cet état d'équilibre, la force exerce sur le point sollicité *une pression* ou *une traction ;* mais elle ne produit *au-*

cun déplacement de corps, elle n'accomplit *aucun travail mécanique.*

Pour qu'en effet, il y ait travail effectué, il ne suffit pas qu'une pression ou une traction soit équilibrée ; il faut qu'une *résistance* soit *vaincue et déplacée.* Pour évaluer un travail, il faut donc tenir compte à la fois de *la résistance surmontée* et de *l'étendue du déplacement de cette résistance.* — Une machine qui soulève un poids de *deux* kilogrammes à *un* mètre de hauteur, réalise évidemment un travail *double* de celui d'une machine qui ne soulève à la *même hauteur* qu'un poids d'*un* kilogramme. Pour la même raison, de deux machines qui soulèvent *un même* poids, l'une à *deux* mètres, l'autre à *un* mètre de hauteur, la première produit un travail *double* de celui de la seconde. — En mécanique, on prend pour *unité de travail*, le travail développé par *l'élévation d'un kilogramme à un mètre de hauteur ;* cette unité prend le nom de *kilogrammètre.* — Dès lors, la mesure du travail effectué par une machine qui a élevé un poids P à une hauteur verticale h est le produit $P.h$ du poids soulevé par la hauteur verticale du déplacement.

Fixons maintenant notre attention sur une *force motrice* déplaçant un corps, exécutant un *travail mécanique.* — Supposons cette force motrice capable de transporter un poids d'*un* kilogramme à *un* mètre de hauteur, sans lui communiquer de vitesse. Il faudra

évidemment employer une seconde force de même intensité que la première, pour imprimer à ce poids d'un kilogramme un nouveau mouvement ascensionnel d'un mètre, et une troisième force égale à chacune des deux premières pour soulever une troisième fois ce kilogramme d'un mètre. D'où résulte évidemment que, pour communiquer à ce poids d'un kilogramme un mouvement ascensionnel continu de *trois* mètres de hauteur, il faudrait recourir à une force *triple en intensité* de chacune de ces forces égales successivement employées. — Évidemment aussi, pour soulever un poids de *deux* ou *trois* kilogrammes à *un* mètre de hauteur, il serait nécessaire d'employer une force *double* ou *triple* de celle qui aurait suffi pour transporter *un* kilogramme à la même hauteur. — L'intensité d'une force motrice est donc proportionnelle au poids P qu'elle soulève et à la hauteur verticale h du déplacement ; comme le travail qu'elle réalise, elle a pour mesure le produit $P.h$ de ce poids par l'étendue du mouvement ascensionnel communiqué. — Le *kilogrammètre* est donc à la fois l'*unité dynamique* et l'*unité de travail mécanique*.

Le marteau le plus lourd de nos grandes usines métallurgiques, déposé sans vitesse acquise sur une pièce de fer, exerce une pression continue sur son support sans déterminer de déformation appréciable ; ce même marteau soulevé à une certaine hauteur et

abandonné à lui-même, retombe sur cette même pièce de fer, et produit un écrasement d'autant plus complet que la hauteur de la chute est plus grande ou qu'il a acquis, au moment du choc, une vitesse plus considérable. — Objet inoffensif à l'état de repos, le boulet renverse et détruit tout sur son passage, quand il s'échappe de la bouche à feu. — D'où vient donc cettte différence dans les effets produits par le même corps, suivant qu'on le considère à l'état de repos ou de mouvement? comment la vitesse acquise peut-elle communiquer à la matière une telle puissance mécanique?

Le poids P d'un corps quelconque est égal au produit M.g de sa masse M par l'intensité g de la pesanteur. Il en résulte qu'à l'état de repos, la pression exercée par un corps sur son support est simplement proportionnelle à sa *masse*, et que, par suite, pour le maintenir en équilibre ou l'empêcher de céder à l'action de la pesanteur qui le sollicite à tomber, il suffit que le support oppose une résistance proportionnelle à cette masse M.—Il n'en est plus ainsi quand le corps est en mouvement. En vertu de son inertie, ce corps persisterait indéfiniment dans l'état de mouvement qui lui a été communiqué, si des résistances extérieures ne détruisaient pas la vitesse dont il est animé. Lancé comme un projectile dans l'espace, ce corps heurte sur son passage des obstacles de toute nature, les

comprime, les déforme, les traverse jusqu'à ce que la somme des résistances successivement rencontrées anéantisse sa vitesse; dans ce dernier cas, l'intensité des pressions exercées et la grandeur des effets mécaniques produits par ce corps dépendent évidemment à la fois de sa masse et de la vitesse qui lui a été communiquée.

A l'état d'équilibre ou de repos, la puissance mécanique d'un corps quelconque se réduit à une simple pression proportionnelle à la masse M et dont la mesure est le poids P de ce corps.

On désigne sous le nom de *force vive* (cette expression n'a aucun rapport de signification avec les *activités* des êtres organisés) la puissance mécanique d'un corps en mouvement. Il est facile de déterminer la valeur réelle de cette force vive.

Prenons un corps *parfaitement dur* du poids P et élevons-le à une hauteur h; nous aurons ainsi effectué un travail mécanique, ou dépensé une force motrice $P.h$. — Abandonnons ce corps à lui-même, et supposons qu'au terme de sa chute, il rencontre un sommier d'acier *parfaitement élastique*. — Le corps s'arrête et perd la force vive dont était animé; le sommier cède sous le choc, reprend instantanément sa forme primitive et communique au corps choquant une impulsion qui le fait rebondir à la hauteur h d'où il est tombé.

Ainsi, un travail mécanique $P.h$ a été accompli

pour élever ce corps à la hauteur h; en tombant librement de cette hauteur h sous l'influence de la pesanteur, ce corps a acquis une certaine *force vive;* au moment du choc, cette force vive acquise a développé, en s'éteignant, une force motrice capable de faire remonter ce corps à la hauteur h dont il est tombé, c'est-à-dire d'accomplir un travail $P.h$ égal au travail primitif de soulèvement du corps. — Comme évidemment la *force vive* ne peut pas créer une puissance mécanique qui lui soit supérieure, il en résulte que, en tombant librement d'une hauteur déterminée h, un corps quelconque a acquis au bout de sa chute une *force vive*, ou *puissance mécanique*, égale en intensité à la force motrice qu'il a fallu dépenser pour l'élever à cette hauteur h[1].

[1] L'expression de la *force vive*, en fonction de la masse du corps et de la vitesse acquise, est simple et facile à déterminer.

Soit, en effet : P le poids, M la masse du corps et g l'intensité de la pesanteur.

Le poids du corps est :

$$P = M.g.$$

Le travail nécessaire pour élever le corps à la hauteur h est :

$$P.h = M.g.h.$$

En tombant librement de la hauteur h, le corps a acquis au terme de sa chute une vitesse v telle que :

$$v = \sqrt{2g.h},$$

d'où,

$$v^2 = 2g.h$$

Multipliant de part et d'autre par M et divisant par 2, nous avons :

$$\frac{M.v^2}{2} = M.g.h = P.h.$$

Ces préliminaires posés, voyons comment, dans des circonstances nettement définies, se modifient les manifestations de la chaleur et de la force mécanique.

Dans un cylindre de *un* mètre carré de section transversale, versons de l'eau à la température de *zéro;* par l'intermédiaire d'un piston mobile, exerçons à la surface libre du liquide une pression totale de 10333 kilogrammes (en nombres ronds *un* kilogramme par centimètre carré), et soumettons le cylindre à l'action d'une source de chaleur. — A mesure que la chaleur extérieure pénètre dans l'appareil, la température de l'eau s'élève graduellement jusqu'à 100 degrés. En même temps, l'eau se dilate; ses molécules s'écartent sous l'influence d'un effort qui surmonte la résistance des forces intermoléculaires, et le piston est soulevé avec sa charge.

Dans cette équation, le second membre $P.h$ est le travail accompli pour soulever le corps à la hauteur h; le premier membre $\frac{Mv^2}{2}$ est la *force vive* dont le corps est animé au terme de sa chute.

Lorsque un corps de masse M se meut avec une vitesse v qui lui a été communiquée d'une manière quelconque, il est donc animé d'une *force vive* dont l'expression est :

$$\frac{M.v^2}{2}.$$

En d'autres termes, ce corps représente une *force motrice* capable de le soulever à une hauteur h, telle qu'en tombant librement de cette hauteur, il acquerrait la vitesse v dont il est actuellement animé.

Pendant cette première période de l'opération, la chaleur produit deux effets bien distincts : d'une part, elle élève la température de l'eau; d'autre part, elle accomplit un *double travail mécanique*, l'un tout *intérieur* représenté par l'écartement des molécules du liquide, l'autre *extérieur* correspondant au soulèvement de la charge du piston. — A partir du moment où la masse du liquide est à 100 degrés, bien que de nouvelles quantités de chaleur continuent à pénétrer dans le cylindre, la température de l'eau reste *stationnaire;* l'action thermique disparaît, mais le double travail mécanique *intérieur* et *extérieur*, d'écartement des molécules du liquide et de soulèvement de la charge du piston, devient beaucoup plus considérable. Sans changer de température, l'eau passe à l'état gazeux, et la vapeur ainsi formée presse sur la face inférieure du piston, qu'elle chasse devant elle avec la charge de 10333 kilogrammes.

Ainsi donc, tant qu'il n'y a pas changement d'état physique, la chaleur, dans son action sur les corps, modifie leur état thermique et produit en même temps un double travail mécanique *intérieur* et *extérieur*, dont le résultat immédiat est une augmentation de volume.—Mais, dans des circonstances déterminées, pendant le passage de l'état liquide à l'état gazeux et aussi de l'état solide à l'état liquide, la chaleur nous apparaît comme une *force purement*

mécanique; elle n'exerce plus d'action thermique sur les corps soumis à son influence, et son activité n'est plus représentée que par un double travail mécanique effectué pour lutter contre les forces intermoléculaires à l'intérieur et contre les pressions extérieures.

Considérons une force mécanique représentée par la force vive d'une sphère animée d'un mouvement rectiligne et uniforme. — La sphère est *parfaitement élastique* et en heurte une seconde de *même nature* et de même volume. Au moment du choc, la sphère choquante s'arrête, reste immobile et communique à la sphère choquée toute sa vitesse et toute sa force vive. — Cette sphère *parfaitement élastique* heurte un obstacle inébranlable; elle s'aplatit, s'arrête, perd sa force vive; mais elle reprend immédiatement sa forme primitive en vertu de son élasticité qui la fait rebondir en lui rendant sa vitesse et sa force vive primitives. — Dans ces deux cas, nous voyons une force mécanique s'éteindre complétement et développer à sa place une force mécanique de même intensité.

Si la sphère en mouvement, parfaitement dure et dépourvue d'élasticité, heurte un obstacle dur, résistant et non élastique, les phénomènes sont tout différents. Au moment du choc, la sphère s'arrête et perd toute sa force vive, sans produire aucun travail mécanique; mais, en même temps, sa tem-

pérature s'élève, une certaine quantité de chaleur est développée. — Les plaques métalliques des navires blindés, frappées par les boulets que lancent les énormes canons modernes, deviennent *rouges de feu.*

Ainsi donc, une force mécanique peut, suivant les circonstances, produire un travail mécanique, communiquer une vitesse et développer une force vive, ou provoquer, au moment de son extinction, un simple dégagement de chaleur.

En résumé, nous avons vu la chaleur, dans son action sur les corps, produire tantôt des effets thermiques associés à des effets mécaniques, tantôt de simples effets mécaniques sans variation de température. — D'autre part, l'expérience démontre que l'action d'une force mécanique peut être traduite, soit par un simple effet mécanique, soit par une simple production de chaleur. —En présence de ces faits, il est difficile de se refuser à considérer la chaleur comme une force de même nature au fond que les forces motrices étudiées en mécanique, et les phénomènes calorifiques comme des phénomènes purement mécaniques et soumis à toutes les lois du mouvement. — On se trouve ainsi conduit à admettre dans les corps l'existence de trois espèces de mouvement correspondant à trois ordres de phénomènes : — un mouvement de totalité de la masse du corps;—ces oscillations régulières et directement

perceptibles des éléments du corps autour de leur position d'équilibre, qui se traduisent par des phénomènes sonores, quand elles s'exécutent avec une vitesse suffisante; — enfin des vibrations des derniers éléments de la matière qui, par leur ténuité, échappent à nos sens. La chaleur ne serait que la *force vive* de ces vibrations insensibles des molécules des corps, et rentrerait ainsi de plein droit dans le domaine des forces mécaniques. — Dès lors, il n'y aurait plus lieu de s'étonner si, n'étant en réalité que des mouvements ou des effets de mouvements, la force vive d'un projectile, le travail mécanique, les vibrations sonores, la chaleur, peuvent s'engendrer les uns les autres, se substituer les uns aux autres.

En 1798, Rumford, préposé à la direction de la fonderie de canons de Munich, fit une très-belle expérience de transformation de la force motrice en chaleur. — Frappé de la grande quantité de chaleur développée dans le forage des canons, il se posa les deux questions suivantes :

« D'où vient[1] la chaleur actuellement produite dans l'opération mécanique du forage? — Est-ce la chaleur latente des copeaux métalliques qui est devenue libre?

« S'il en était ainsi, ajoute-t-il, la capacité pour

[1] *Recherches sur la source de la chaleur engendrée par le frottement.*

la chaleur des portions de métal réduites en copeaux ne devrait pas seulement être changée; le changement subi par elle devrait être suffisamment grand pour rendre compte de *toute* la chaleur produite. Et cependant ce changement n'a pas lieu, car la capacité calorifique des copeaux est restée exactement la même que celle des tranches du même métal séparées par une scie fine, avec les précautions nécessaires pour éviter tout échauffement. »

Il poussa plus loin cette étude; il construisit un appareil dans lequel un pilon d'acier trempé était fortement pressé contre le fond d'un cylindre creux en fer. Entraîné par deux chevaux, le cylindre tournait autour de son axe; la surface de frottement des deux pièces métalliques était d'environ 15 centimètres carrés. Il mit l'appareil en mouvement après l'avoir placé dans une caisse de sapin contenant assez d'eau pour recouvrir le cylindre.

Au début de l'expérience, l'eau de la caisse était à 15 degrés ; au bout de deux heures trente minutes de rotation du cylindre, cette eau était en *pleine ébullition*. — Tout le travail effectué pendant ce temps par deux chevaux avait été employé à surmonter la résistance opposée par le frottement du pilon sur le fond du cylindre; dans cette opération, il ne s'était produit que 54 grammes de limaille métallique ayant la même chaleur spécifique que le fer du cylindre; mais la quantité de chaleur dégagée était

de 1200 calories, c'est-à-dire assez considérable pour élever de *zéro* à 100 degrés la température de 12 kilogrammes d'eau.

Convaincu que la chaleur développée par le frottement ne peut être considérée comme le résultat de la mise en liberté de la chaleur latente de la limaille métallique produite pendant l'opération, Rumford fait suivre cette expérience de remarques excessivement remarquables sur la nature de la chaleur.

« En méditant, dit-il, sur les résultats de toutes ces expériences, nous sommes amenés à cette grande question qui a été si souvent l'objet des spéculations des philosophes, à savoir : Qu'est-ce que la chaleur? Y a-t-il quelque chose comme un fluide igné? Y a-t-il quelque chose qui puisse être appelé proprement calorique?

« Nous avons vu qu'une quantité très-considérable de chaleur pouvait être engendrée par le frottement de deux surfaces métalliques, et engendrée de manière à fournir un courant ou flux *dans toutes les directions*, sans interruption, sans intermittence et sans aucun signe de *diminution* ou d'*épuisement*. En raisonnant sur ce sujet, nous ne devons pas oublier *cette circonstance des plus remarquables*, que la source de la chaleur engendrée par le frottement dans ces expériences paraît évidemment être *inépuisable*. Il est à peine nécessaire d'ajouter

qu'une chose qu'un corps *isolé* ou un système de corps peuvent continuer de fournir *indéfiniment*, sans limites, ne peut absolument être une *substance matérielle;* et il me paraît extrêmement difficile, sinon tout à fait impossible, de se former une idée d'une chose capable d'être excitée et communiquée dans ces expériences, à moins que cette chose ne soit un MOUVEMENT. »

Au moment où Rumford faisait ses expériences et en déduisait des arguments d'une telle puissance contre la matérialité du calorique, ses conjectures sur la nature de la chaleur étaient en contradiction flagrante avec les idées universellement adoptées; aujourd'hui elles ont pris rang dans la science à titre de vérités démontrées.

Peu de temps après, H. Davy fit une expérience encore plus concluante que celles de Rumford contre la matérialité de la chaleur. — Il prit deux morceaux de glace à *zéro*, et les maintint dans une enceinte à *zéro* pendant qu'il les frottait fortement l'un contre l'autre; les deux fragments de glace fondirent très-rapidement. — Nous savons que chaque kilogramme de glace à *zéro*, pour se transformer en eau à *la même température*, absorbe 79 unités de chaleur. D'où pouvait provenir la chaleur nécessaire pour produire le changement d'état de la glace dans cette expérience? Elle n'avait certainement pas été empruntée à l'appareil, dont toutes les pièces

étaient maintenues à *zéro;* elle n'avait pas non plus été fournie par un dégagement de chaleur qui, de *latente*, serait devenue *libre* au moment de la fusion, car la chaleur spécifique de l'eau est plus que double de celle de la glace. Si donc le frottement de deux morceaux de glace produit assez de chaleur pour opérer la fusion, c'est que la chaleur n'est pas une *substance matérielle*, c'est un mouvement vibratoire des dernières particules des corps dont la force vive est, dans le cas actuel, l'équivalent du travail mécanique dépensé pendant le frottement lui-même.

L. Foucault[1] a su trouver, dans les phénomènes d'induction, un des exemples les plus remarquables et les plus éclatants de la transformation du travail mécanique en chaleur. Imaginons un disque de cuivre rouge en rotation entre les pièces polaires d'un fort électroaimant ; il suffit de fermer le circuit des bobines, pour que le mouvement de rotation soit détruit en *quelques secondes* et que le disque s'arrête comme s'il était serré par un *frein invisible*. Si, malgré cette influence, on veut que le mouvement persiste, il faut pousser à la manivelle et *fournir un certain travail* pour restituer à chaque instant au mobile la *vitesse perdue; l'équivalent de ce travail doit nécessairement reparaître en chaleur dans le corps*

[1] Comptes rendus de l'*Académie des sciences*, 1855, t. XLI, p. 450.

tournant. L. Foucault a montré que, dans ces circonstances, la température du disque s'élève de 50 à 60 degrés. Sans doute la chaleur est produite par les courants d'induction développés dans le disque tournant ; mais il doit toujours exister, entre l'intensité de ces courants induits et la force motrice dépensée, une relation telle que la quantité de chaleur communiquée au disque soit l'équivalent du travail fourni pour surmonter la résistance électro-magnétique. — Une modification bien simple de cette brillante expérience a permis à L. Foucault de mettre en évidence la proportionnalité du travail consommé et de la chaleur développée. Le disque étant lancé à toute vitesse et abandonné à lui-même, on l'arrête brusquement en fermant le circuit des bobines de l'électro-aimant ; constamment l'*excès de température acquis par le disque se trouve proportionnel au carré de la vitesse ou à la force vive détruite*. — Il serait difficile d'imaginer une démonstration à la fois plus élégante et plus complète de la transformation, par voie d'équivalence, de la force motrice en chaleur.

Les recherches de M. Joule, dont l'exactitude a été vérifiée par les observateurs les plus éminents de notre époque, ont établi que cette transformation de la chaleur en force mécanique et de la force mécanique en chaleur se fait suivant une loi invariable, complétement indépendante des circonstances au

milieu desquelles la transformation se manifeste, et de l'intermédiaire employé pour la réaliser. Avec tous les mécaniciens et tous les physiciens, prenons pour *unité de travail*, le *kilogrammètre* ou le travail accompli quand *un* kilogramme est soulevé à *un* mètre de hauteur, et pour *unité de chaleur*, la *calorie* ou la quantité de chaleur nécessaire et suffisante pour élever de *un* degré la température d'*un* kilogramme d'eau ; nous devons admettre les deux principes suivants comme définitivement démontrés :

1er *principe*. Toutes les fois qu'une force mécanique capable de produire 425 unités de travail est consommée sans travail mécanique effectué, il se dégage une unité de chaleur.

2e *principe*. Réciproquement, une unité de chaleur consommée sans déterminer une élévation de température produit 425 unités de travail.

Les quantités de travail mécanique et de chaleur qui peuvent se substituer l'une à l'autre, se transformer l'une en l'autre, sont donc dans le rapport constant de 425 à 1 ; ce nombre 425 est l'*équivalent mécanique* de la chaleur[1].

Ce n'est pas ici le lieu de passer en revue les divers travaux entrepris pour déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur ; cette étude, pour être complète, exigerait de trop longs développements. Nous

[1] Voy. aux Documents, III.

devons nous contenter d'emprunter à M. Verdet le tableau des déterminations qui doivent inspirer le plus de confiance.

NATURE DU PHÉNOMÈNE AUQUEL LA DÉTERMINATION DE L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE A ÉTÉ EMPRUNTÉE	NOMS DES PHYSICIENS QUI ONT DONNÉ LE PRINCIPE THÉORIQUE DE LA DÉTERMINATION	VALEUR DE L'ÉQUIVALENT MÉCANIQUE
Propriétés générales de l'air[1]	Mayer.	426
	Clausius.	
Frottement.	Joule.	425
	Favre.	413
Travail de la machine à vapeur.	Clausius.	413
Chaleur dégagée par une machine électromagnétique en mouvement et en repos. . .	Favre.	443
Chaleur totale dégagée dans le circuit de la pile de Daniell.	Bosscha.	420

Quand on tient compte des difficultés très-grandes que présentent toujours des expériences de ce genre, et de la diversité des phénomènes dont l'étude à

[1] Nous croyons devoir indiquer ici le calcul très-simple qui permet de déterminer l'équivalent mécanique de la chaleur au moyen des propriétés générales de l'air.

L'air est assez éloigné de son point de liquéfaction pour qu'on puisse e considérer comme un gaz parfait; dès lors on doit admettre que ses molécules n'exercent aucune influence les unes sur les autres. Il en résulte que la chaleur communiquée à un poids déterminé d'air soumis à une pression constante ne produit que deux effets faciles à déterminer : l'élévation de température et un travail extérieur égal au produit de la dilatation du gaz par la pression qu'il supporte sur chaque unité

fourni ces déterminations, l'accord des nombres obtenus doit paraître très-satisfaisant et être considéré comme une confirmation expérimentale de la

de surface. Or, d'après les déterminations de M. V. Regnault et de MM. Moll et Van Beck :

Le coefficient de dilatation de l'air est à toute température et à toute pression.. . . . . = 0,00367

La chaleur spécifique de l'air sous pression constante est à toute température et à toute pression. . . . . C = 0,2377

La chaleur spécifique de l'air à volume constant est. C′ = 0,1688

Il en résulte qu'un kilogramme d'air à *zéro*, pour passer à la température de *cent* degrés, absorbe 23,77 calories s'il se dilate librement sous pression constante, et seulement 16,88 calories si son volume primitif est maintenu invariable.

La quantité de chaleur *consommée* par ce *kilogramme* d'air pour effectuer le travail extérieur de soulèvement de la pression pendant la dilatation que lui fait éprouver une élévation de température de *cent* degrés est donc égale à :

$$23,77 - 16,88 = 6,89 \text{ calories.}$$

Un *kilogramme* d'air à la température de *zéro* et sous la pression normale de 76 centimètres de mercure,

Occupe un volume de. . . . . 0,7734 mètres cubes,

et supporte par mètre carré une pression de 10333 kilogrammes.

Le travail extérieur effectué par ce *kilogramme* d'air quand on élève sa température de *zéro* à *cent* degrés est égale au produit de la dilatation de son volume primitif par la pression que supporte l'unité de surface :

$$0,7734 \times 0,367 \times 10333 = 2932,9 \text{ kilogrammètres.}$$

L'*équivalent mécanique de la chaleur,* ou le rapport du travail effectué à la chaleur consommée pour le produire, est donc :

$$\frac{2932,9}{6,89} = 425,67$$

Le nombre 425 est généralement adopté comme la meilleure évaluation de l'équivalent mécanique de la chaleur.

théorie de la réciprocité de la chaleur et de la force mécanique.

Nous savons qu'un poids donné, tombant d'une certaine hauteur, sous l'influence de la pesanteur, acquiert au bout de sa chute une vitesse déterminée et, par suite, représente une *force vive* ou puissance mécanique déterminée ; l'expérience démontre qu'à la mise en jeu d'une action chimique d'intensité déterminée correspond toujours la production d'une même quantité de chaleur ou d'électricité, etc., etc. Tous les agents de la nature, gravitation, cohésion, affinité, chaleur, électricité, etc., peuvent donc se substituer l'un à l'autre, se transformer l'un en l'autre par voie d'équivalence. Toutes ces forces, si diverses en apparence, doivent être considérées comme de simples *modalités dynamiques ;* ce sont autant de formes sous lesquelles le principe dynamique peut se manifester. Toutes les fois qu'une de ces modalités dynamiques disparaît, elle est remplacée par une autre modalité d'intensité équivalente ; partout où un travail est produit, une de ces modalités dynamiques est consommée ; partout où un travail est détruit, une de ces modalités dynamiques se manifeste. *Pour la force donc comme pour la matière, rien ne se crée, rien ne se perd.* Le principe dynamique et le principe matériel sont répandus dans l'univers en quantités invariables ; les phénomènes du monde extérieur, dont la science étudie

et cherche les lois de production et de manifestation, ne sont en réalité que des mouvements, des changements de forme de la matière et du mouvement.

Mais la force n'est saisissable que dans ses effets, et ces effets eux-mêmes sont inséparables des corps dans lesquels ils se manifestent. Nous devons donc répéter après Newton : *Virtus sine substantia subsistere non potest.* Toutes ces forces, ou plutôt toutes ces modalités dynamiques du monde extérieur que la limitation de nos facultés et du temps nous condamne à étudier à part, transformables les unes en les autres par voie d'équivalence, ne sont donc en réalité que des *activités propres* de la matière.

Du principe de la substitution des forces par voie d'équivalence il résulte que la chaleur développée en quantité déterminée dans toute combinaison chimique représente une quantité déterminée de travail mécanique. — Quand donc l'expérience établit que *un kilogramme* de carbone, en se combinant avec 2 *kilogrammes* 667 *milligrammes* d'oxygène, dégage 8080 unités de chaleur, elle prouve que *un kilogramme* de carbone, en passant de l'état libre à l'état d'acide carbonique, peut produire 3434000 unités de travail. De même *un* kilogramme d'hydrogène, dégageant 34462 unités de chaleur, en se combinant avec 8 kilogrammes d'oxygène, peut produire 14646350 unités de travail en passant de l'état libre à l'état d'eau. — Réciproque-

ment, la décomposition de 3 kilogrammes 667 milligrammes d'acide carbonique met en liberté *un* kilogramme de carbone et exige un travail équivalent à 8080 unités de chaleur ; par la même raison, la décomposition de 9 kilogrammes d'eau, ou la mise en liberté de *un* kilogramme d'hydrogène, exige un travail équivalent à 34462 unités de chaleur. — Ce travail ainsi consacré à la décomposition de l'acide carbonique et de l'eau n'est pas *perdu;* en réalité il est *emmagasiné* dans le carbone et l'hydrogène rendus libres, puisqu'en se combinant avec l'oxygène, ce carbone et cet hydrogène peuvent reproduire, en chaleur, tout le travail dépensé pour les extraire de l'acide carbonique et de l'eau.

Nous ne voulons pas quitter ce sujet sans dire un mot des limites dans lesquelles s'exerce cette réciprocité de la chaleur et de la force mécanique. — Les chocs et le frottement sont des causes incessantes de destruction du mouvement partout où il existe; sous leur influence, la force motrice tend donc fatalement à s'éteindre, à disparaître, et finalement se transforme *tout entière* en chaleur. — Les conditions du retour de la chaleur à l'état de travail mécanique, ou de force motrice, ont été étudiées par M. Clausius et M. W. Thomson. Partant de ce principe évident que : « Si la chaleur peut toujours passer d'un corps chaud à un corps froid, elle ne peut passer d'*elle-même* d'un corps froid à un

corps chaud, » ces deux éminents physiciens ont démontré que la chaleur ne peut, en aucun cas, être *tout entière* utilisée comme moyen de communiquer du mouvement à un corps ou d'effectuer un travail mécanique. — Dans tout système de corps, la force motrice tend donc constamment et fatalement à se transformer en chaleur, tandis que la chaleur ainsi développée ne peut jamais revenir *tout entière* à l'état de force motrice; ce système, par le seul effet des réactions réciproques des corps qui le composent, doit être amené, dans un temps déterminé, à un état tel que tout mouvement est éteint et que toute force est transformée en chaleur. — De ces principes aujourd'hui rigoureusement démontrés découle naturellement une conclusion d'une immense portée et dont l'exactitude est incontestable :

Dans la nature, tous les corps modifient incessamment leur état réciproque ; le système entier du monde marche graduellement et d'une manière continue vers un état tel que, tout mouvement étant détruit, toutes les modalités dynamiques actuellement en action seront transformées en chaleur. A ce moment s'établira un équilibre général de température; dès lors plus de nouvelle transformation ni d'échange possibles. Toute activité s'éteindra aussi bien dans le règne minéral que dans le règne organique; l'univers entrera et persistera dans une phase de repos absolu.

Un corps suspendu dans l'atmosphère est incessamment sollicité par la pesanteur à se rapprocher de la surface de la terre. Abandonné à lui-même, il tombe, entraîné dans un mouvement uniformément accéléré dont la vitesse est proportionnelle à la racine carrée de la hauteur de chute. La force vive dont ce corps est animé varie donc à chaque instant; elle augmente proportionnellement à la hauteur de chute, et par suite au carré de la vitesse acquise. Avec M. Macquorn Rankine, nous appellerons *énergie* d'un corps la force vive que ce corps *a acquise* ou *peut acquérir* en tombant, en chute libre, d'une hauteur déterminée à une hauteur moindre au-dessus de la surface de la terre.

Pour fixer les idées, considérons un corps du poids de 5 kilogrammes suspendu dans l'atmosphère à 40 mètres de hauteur; la pesanteur, en le ramenant à la surface du sol, lui communiquerait une force vive de 200 kilogrammètres égale au produit 5×40 de son poids par la hauteur de chute. — Cette force vive, égale au travail de 200 kilogrammètres effectué par la pesanteur, est l'*énergie totale* du corps parvenu au terme de sa chute; mais tant que ce corps est maintenu en équilibre à 40 mètres de hauteur, il n'a en réalité ni force vive, ni énergie, seulement il est *dans la possibilité* d'acquérir cette énergie totale en devenant libre d'obéir à l'action de la pesanteur. De là la nécessité de deux

expressions qui caractérisent ces deux conditions, l'une dynamique, l'autre statique des corps.

On appelle *énergie actuelle* d'un corps, la force vive dont il est *actuellement* et *réellement* animé, quand il est tombé d'une hauteur déterminée.

Empruntant le langage de la philosophie, on donne le nom d'*énergie potentielle* à la force vive que ce corps à l'état d'équilibre ne possède qu'en *puissance*, c'est-à-dire qu'il *peut* acquérir en tombant de la hauteur à laquelle il est maintenu.

Reprenons l'exemple du corps du poids de 5 kilogrammes suspendu à 40 mètres de hauteur; son *énergie totale* est de 200 kilogrammètres, tout entière *actuelle* à la fin de la chute, tout entière *potentielle* à l'origine du mouvement. — Si nous considérons ce corps à un moment quelconque de sa chute, il a à la fois une *énergie actuelle* qui dépend de la hauteur dont il est déjà descendu et une *énergie potentielle* qui dépend du chemin qu'il lui reste à parcourir. La somme de ces deux énergies est toujours égale à 200 kilogrammètres, à l'énergie totale. — En effet, prenons le corps au moment où il est descendu à une hauteur de 25 mètres. Il est déjà tombé de 15 mètres; la force vive acquise, son *énergie actuelle*, est donc $5 \times 15 = 75$ kilogrammètres; mais, pendant les 25 mètres qu'il a encore à parcourir pour compléter la chute, il acquerra une nouvelle force vive de $5 \times 25 = 125$ kilogram-

mètres qui représentent son *énergie potentielle*. La somme de ces deux énergies, l'*actuelle* et la *potentielle*, du corps, au moment où il est déjà tombé de 15 mètres, est donc égale à $75 + 125 = 200$ kilogrammètres, égale à l'énergie *totale* du corps transporté à 40 mètres de hauteur.

Ces principes, développés à propos de l'action de la pesanteur, s'appliquent aussi aux actions chimiques. L'affinité, en déterminant l'union, la combinaison de deux corps de nature diverse, développe une force vive qui se manifeste sous forme de chaleur et que nous sommes habitués à évaluer en *unités de chaleur* convertibles elles-mêmes en kilogrammètres. Cette force vive calorifique n'est autre chose que l'*énergie* du système de corps considéré, *actuelle* au moment où la combinaison s'effectue et qu'a lieu le dégagement de chaleur, *potentielle* tant que la réaction n'a pas encore commencé entre les corps en présence.

L'expérience démontre que la combinaison d'*un* kilogramme d'hydrogène avec l'oxygène s'accompagne du dégagement de 34462 unités de chaleur. Cette quantité de chaleur, *énergie actuelle* du produit de la combinaison, est en réalité l'*équivalent* du travail accompli par l'affinité pendant que s'est effectuée l'union de l'hydrogène et de l'oxygène. Dans cette opération, l'affinité *satisfaite* s'est transformée en force vive calorifique; la *forme* a changé,

mais la *quantité* de force disponible est restée invariable. — Tant que l'hydrogène et l'oxygène restent en présence sans se combiner, l'action de l'affinité *non satisfaite* se réduit à une sorte de *tension* qui sollicite les deux corps à s'unir ; l'*énergie* du système est tout entière à l'*état potentiel*, et nous pouvons dire, dans ce sens, qu'*un* kilogramme d'hydrogène, considéré dans ses rapports avec l'oxygène, a une *énergie potentielle* égale à 34462 calories.

Les combinaisons du carbone et de l'oxygène sont au nombre de deux : l'oxyde de carbone et l'acide carbonique. — L'oxyde de carbone correspond à un premier degré d'oxydation dans lequel l'affinité de carbone pour l'oxygène n'est pas complétement satisfaite; pour saturer complétement le carbone d'oxygène, il faut lui faire subir un second degré d'oxydation qui le fait passer à l'état d'acide carbonique. — Or, l'expérience démontre que :

1 kilogramme de carbone, en passant à l'état d'oxyde de carbone, dégage 2473 calories;

1 kilogramme de carbone, pour passer de l'état d'oxyde de carbone à celui d'acide carbonique, dégage 5607 calories;

1 kilogramme de carbone, en passant d'emblée à l'état d'acide carbonique, dégage 8080 calories.

Appliquant à ces données de l'expérience les principes précédemment développés à propos de

l'action de la pesanteur, nous sommes en droit de dire :

L'*énergie totale* du carbone, par rapport à l'oxygène, est une force vive calorifique égale à 8080 calories.

Cette *énergie totale* est l'*énergie potentielle* du carbone en présence de l'oxygène, quand la réaction chimique n'est pas encore commencée; elle n'est encore disponible que sous forme d'affinité.

Cette *énergie totale* est l'*énergie actuelle* du produit de l'oxydation complète du carbone; elle est alors complétement disponible sous forme de chaleur.

Si le carbone, au lieu de produire directement et d'emblée de l'acide carbonique, passe par deux degrés successifs de combustion, dans quel état est-il au moment où, déjà transformé en oxyde de carbone, il va absorber la quantité d'oxygène nécessaire pour donner naissance à de l'acide carbonique? Évidemment à cette période de la réaction chimique correspondent deux sortes d'énergie : une *énergie actuelle*, force vive calorifique disponible et acquise pendant la durée du premier degré d'oxydation; une *énergie potentielle*, force vive calorifique que le carbone acquerra en subissant le second degré d'oxydation et deviendra disponible seulement alors que l'affinité sera satisfaite par la production de l'acide carbonique. L'énergie actuelle est de

2473 calories, la potentielle de 5607 calories. Conformément aux principes développés, la somme $2473 + 5607 = 8080$ calories de ces deux énergies est égale à l'*énergie totale* du carbone par rapport à l'oxygène.

De ces considérations découlent naturellement deux principes de la plus haute importance pour nos études ultérieures :

1° Pour parvenir à un degré d'oxydation déterminé, une substance quelconque développe une quantité de chaleur toujours la même quels que soient le nombre et la nature des degrés intermédiaires par lesquels elle passe avant d'atteindre cet état final. — Nous avons déjà vu que, chez les animaux, les matériaux organiques du sang, avant d'être expulsés au dehors, subissent une série de combustions qui simplifient leur composition et les rapprochent de plus en plus de l'état minéral. Le résultat incontestable de ces mutations est une production de chaleur; pour apprécier la quantité de cette chaleur dégagée, il nous suffira de reconnaître l'état définitif auquel aura été ramenée la matière organique complétement ou incomplétement brûlée, sans tenir compte des transformations successives qu'elle aura éprouvées.

2° Lorsque, avec de l'eau et de l'acide carbonique, substances à affinité chimique satisfaite, les plantes fabriquent des matières amylacées, sucrées,

grasses, toutes substances combustibles, elles créent en réalité de l'affinité chimique, de l'*énergie potentielle* qui deviendra *force vive calorifique disponible* au moment où, attaquées par l'oxygène dans les capillaires généraux de l'animal, ces matières repasseront à l'état d'eau et d'acide carbonique.

Le principe dynamique se présente à nous sous trois formes fondamentales, d'où dérivent toutes les autres modalités : la pesanteur, la cohésion, l'affinité. Lorsque l'homme veut accomplir un travail, exercer une action sur le monde extérieur, c'est à l'une de ces trois modalités primitives qu'il demande la force motrice, soit qu'il l'emploie directement, soit qu'il la transforme préalablement en une autre modalité mieux adaptée au but qu'il se propose.

L'industriel qui, au moyen d'une chute ou d'un cours d'eau, met en mouvement les machines de son usine, le marin qui profite des grands courants océaniques pour hâter la marche de son vaisseau, le mineur qui, au moyen d'un fardeau suspendu à une corde engagée dans la gorge d'une poulie, amène à la surface du sol les produits de son industrie, l'aéronaute qui s'élève dans les airs emporté par son ballon, etc., etc., utilisent directement la pesanteur comme force motrice. — Dans nos grandes forges, lorsque des marteaux du poids de 17 à 18 *cents* kilogrammes, soulevés par des roues hydrauliques, retombent sur des pièces de fer, une partie de la

force vive qui leur est communiquée par la pesanteur est transformée en chaleur et détermine, dans les masses de fer choquées, une élévation de température qui augmente leur malléabilité et facilite le travail.

Utilisée directement, l'affinité sert à l'extraction et à la purification des métaux, à la préparation des acides, des sels, des savons, etc., etc., pour les besoins de l'industrie. — Transformée en chaleur dans nos grands foyers de combustion, elle devient la force motrice de la locomotive, du vaisseau à vapeur, de toutes les machines à feu. — Transformée en électricité dans la pile voltaïque, elle fournit à l'homme un agent de transmission d'une vitesse incomparable, qui lui a permis d'établir des communications sûres et directes entre les points les plus éloignés du globe. — Les appareils de combustion du gaz et des matières grasses végétales ou animales, ne font que transformer l'affinité en lumière.

La loi de transformation par voie d'équivalence nous montre que l'homme ne peut, en aucune façon ni dans aucune circonstance, augmenter la quantité de force disponible représentée par l'énergie potentielle des corps qui l'environnent. Et même, lorsque, pour en rendre l'emploi possible ou seulement plus facile, il transforme une modalité dynamique en une autre, il y a toujours une certaine quantité de force, *non pas détruite*, mais perdue, employée à produire, dans l'appareil de transformation, un travail diffé-

rent de celui qu'il se propose de réaliser. C'est ainsi que, dans toute machine, les trépidations communiquées aux supports, l'usure et l'élévation de température des surfaces de contact des pièces mobiles, etc., représentent un travail *inutile*, consomment en pure perte une certaine quantité de force, font en définitive que le travail *utile* réalisé n'est pas équivalent à la force motrice dépensée. Les diverses modalités dynamiques étant chacune plus particulièrement apte à produire tel ou tel effet désiré, il y a nécessité, malgré ces pertes inévitables de force, d'opérer ces transformations; tous les efforts doivent tendre à atténuer autant que possible dans les pièces de support ces réactions accessoires, dont l'effet est de diminuer le rendement de la machine.

Du reste, et nous devons insister sur ce point, la réaction produite restant la même, l'homme reste toujours maître de changer la modalité dynamique en laquelle se transforme la force consommée, car le genre de transformation dépend essentiellement des circonstances ambiantes et de l'agencement des supports placés sur le trajet de l'agent manifesté.

Prenons un exemple qui rendra claire notre pensée. — Dans un verre contenant de l'acide sulfurique étendu d'eau, plongeons une lame de zinc; le métal est attaqué, il se forme du sulfate de zinc. L'expérience nous apprend que, dans ces conditions, la dissolution de *cinq* équivalents de zinc, c'est-à-dire

la consommation d'une quantité déterminée d'affinité chimique, développe *seulement de la chaleur* et produit 94 unités de chaleur.

Formons maintenant une pile de cinq couples (zinc, platine, acide sulfurique étendu), et fermons le circuit voltaïque par un fil métallique. Rien n'est changé dans l'action chimique, le zinc est dissous dans l'acide sulfurique; mais, les circonstances au milieu desquelles l'action chimique s'effectue étant différentes, on obtient un *courant électrique* et un *degagement de chaleur* dans le circuit. Si d'ailleurs l'expérience est poussée jusqu'à ce qu'un équivalent de zinc soit dissous dans chaque couple, la quantité d'affinité chimique consommée dans l'appareil tout entier reste la même que dans le premier cas; les conducteurs sont traversés par une quantité déterminée d'électricité, dont l'action s'épuise à surmonter les résistances du circuit, et qui développe dans ce circuit les 94 unités de chaleur équivalentes elles-mêmes à l'action chimique effectuée.

Daus ce circuit voltaïque intercalons une dissolution de sulfate de cuivre, et poussons l'expérience jusqu'à ce qu'un équivalent de zinc soit dissous dans chaque couple, c'est toujours la même quantité d'affinité consommée ; nous obtenons une même quantité d'électricité, dont l'activité produit deux effets distincts : elle surmonte les résistances du circuit et décompose un équivalent de sulfate de cuivre. Le

circuit s'échauffe comme dans le cas précédent, mais le dégagement de chaleur n'est plus que de 64 unités; les 30 unités de chaleur qui manquent, représentent le travail chimique de décomposition d'un équivalent de sulfate de cuivre.

Remplaçons enfin le voltamètre à sulfate de cuivre par un électroaimant qui, au moyen d'un système de poulies, soulève un poids, et poussons toujours l'expérience jusqu'à la dissolution d'un équivalent de zinc dans chaque couple. La même action chimique produite développe nécessairement la même quantité d'électricité, mais le travail accompli dans le circuit est double : une résistance surmontée et un poids soulevé. La quantité de chaleur développée est inférieure à 94 unités, et ce qui manque en chaleur est l'équivalent calorifique du travail mécanique produit par l'électroaimant.

Ainsi, la réaction chimique restant la même, il nous a suffi de modifier la nature et la disposition des pièces de l'appareil destiné à déterminer la manifestation de l'énergie potentielle de cinq équivalents de zinc et de cinq équivalents d'acide sulfurique pour développer : tantôt une quantité déterminée de chaleur, tantôt un courant électrique se transformant tout entier en chaleur, enfin, un courant électrique produisant à la fois de la chaleur et un travail chimique ou mécanique. Mais la dépense de zinc et, par suite, la consommation d'affinité chi-

mique étant restée la même, la force rendue disponible dans l'appareil a, sous ces différentes formes, rigoureusement conservé la même intensité.

Ces faits ont à nos yeux une très-haute importance ; ils nous autorisent à dire que, si les vitalistes ont condamné la biologie à l'immobilité, en élevant une barrière trop haute entre le monde organisé et le monde inorganique, leurs adversaires feraient fausse route, en s'obstinant à considérer tous les phénomènes de la vie comme les effets *directs* des agents dont l'étude appartient à la physique, à la chimie ou à la mécanique. Les leçons du passé ne doivent pas être oubliées ; les physiologistes qui ont marché dans cette dernière voie se sont épuisés en efforts impuissants. Nous venons de le voir : même sans sortir du monde inorganique et bien que la réaction primitive reste rigoureusement la même, à chaque agencement particulier des pièces du support correspond la manifestation d'une modalité dynamique particulière. — L'étude de l'agrégat vivant nous transporte dans un milieu et en face de conditions, dont la spécialité est incontestable, évidente. Nous devons donc renoncer à l'idée préconçue de rapporter tous les phénomènes de la vie à l'action *directe* de l'affinité, de la chaleur ou de l'électricité ; sans perdre un instant de vue le grand principe de la transformation par voie d'équivalence, qui sert de lien à toutes les modalités dynamiques,

quel que soit le théâtre de leur manifestation, nous devons nous attendre à voir le principe dynamique revêtir, dans le monde organique, des formes distinctes de celles qu'il affecte dans le monde inorganique.

CHAPITRE II

DE LA FORCE DANS LE MONDE ORGANISÉ

Fixée au sol, la plante se développe et meurt dans le lieu même où la graine a commencé à germer; sous forme d'ammoniaque, d'acide carbonique et d'eau, elle reçoit sa nourriture toute préparée, de la terre par ses racines, de l'atmosphère par ses feuilles. En réalité, le végétal n'effectue donc aucun *travail extérieur*, et pourtant il consomme une quantité considérable de force vive : toute la portion de la chaleur empruntée à la radiation solaire qui vient s'éteindre sur sa surface foliacée et sur ses parties vertes. Reportons-nous à l'époque où nos landes de Gascogne formaient une vaste surface sablonneuse, nue, dépouillée de toute végétation; sous l'action des rayons solaires, le sable s'échauffait et rendait à l'atmosphère, par rayonnement, toute la chaleur qu'il avait reçue du soleil. Il n'en est plus de même aujourd'hui; les belles forêts de pins qui les recouvrent ne restituent par rayonnement qu'une portion de la chaleur que leur apportent les rayons solaires. Cette force, détruite en ap-

parence, cette chaleur, consommée par la forêt, n'est pas perdue; la plante l'utilise pour accomplir le *travail intérieur* que lui impose sa place dans la série des êtres organisés.

Nous avons vu, en effet, que la fonction de la plante est de fabriquer la matière organique de toutes pièces avec des matériaux de nature minérale. Avec de l'eau et de l'acide carbonique, qui n'ont aucune affinité pour l'oxygène, dont l'énergie, par rapport à l'oxygène, est nulle, le végétal fait des gommes, de l'amidon, des huiles, des sucres, des résines, du ligneux, etc., toutes substances combustibles, douées d'une énergie potentielle considérable, qu'elles développent en se combinant à l'oxygène qui les brûle et les ramène à leur état minéral primitif. Pour transformer ainsi la matière minérale en produits organiques, la plante effectue un travail intérieur qui est l'*équivalent* de la chaleur empruntée au soleil, et aussi de l'énergie potentielle de toutes les substances organiques dont se composent ses tissus et ses sucs propres. Le bois que nous brûlons dans nos foyers ne nous rend en réalité que la chaleur empruntée au soleil par la forêt; en brûlant les houilles dans ses fourneaux, l'industrie entre en possession de la portion de chaleur solaire fixée, emmagasinée sous forme d'énergie potentielle, par les immenses forêts dont la terre était recouverte aux époques antédiluviennes. De ce point

de vue, la forêt nous apparaît comme un vaste organisme qui sans cesse emprunte de la force au soleil, la fixe, l'emmagasine, la tient à la disposition de l'homme. Déboiser une montagne, transformer ses flancs en surfaces nues, arides, sans végétation, c'est donc appauvrir l'humanité et perdre une quantité considérable de force. Au contraire, comme cela a été si heureusement pratiqué dans les landes de Gascogne et comme cela se fait tous les jours dans les sables de la Sologne, couvrir d'arbres une étendue du sol jusque-là improductive, c'est augmenter la richesse sociale et créer une source précieuse de force pour l'avenir. — Un célèbre voyageur, de Humboldt, caractérisait merveilleusement l'influence des grands déboisements, lorsque après avoir visité la fertile vallée d'Aragua, province de Venezuela, il écrivait : « En abattant les arbres qui couvrent la cime et les flancs des montagnes, les hommes, sous tous les climats, préparent aux générations futures deux calamités à la fois : un *manque* de *combustible* et une disette d'eau. »

Soumis à des conditions d'existence bien différentes de celles de la plante, l'animal est condamné à un *travail extérieur* incessant. Le castor travaille pour bâtir sa hutte sur les bords des lacs ou des eaux courantes qu'il sait retenir par une digue ; l'abeille, pour construire sa ruche avec le pollen des fleurs et les matières résineuses enlevées aux

plantes; l'oiseau migrateur, pour changer de climat à chaque saison, etc., etc. Au milieu des exemples innombrables qui tous s'accordent pour proclamer le *travail* comme condition fatalement imposée à 'animalité, contentons-nous d'insister sur le suivant, emprunté à l'histoire des animaux inférieurs. La larve d'un petit insecte, du fourmilion, se nourrit exclusivement d'autres petits insectes dont elle suce les humeurs; ses mouvements sont lents et difficiles; aussi est-elle obligée de tendre des piéges à sa proie, qu'elle ne saurait atteindre autrement. A cet effet, elle creuse dans le sable fin un trou en entonnoir d'environ 8 centimètres d'ouverture et 5 centimètres de profondeur; elle se blottit au fond et se jette sur l'insecte qui se laisse choir dans le précipice. On conçoit sans peine tout ce que ce petit animal doit dépenser de travail pour creuser la fosse avec ses pattes transformées en pioches, charger sur sa tête tous ces grains de sable et les charrier sur les bords du trou.

Depuis le haut jusqu'au bas de l'échelle, tout animal se déplace à chaque instant à la surface du sol, ici pour pourvoir à ses besoins, se procurer la nourriture ou faire des provisions; là pour chercher à se construire un abri; ailleurs pour poursuivre, atteindre, terrasser une proie ou pour se dérober aux étreintes d'un ennemi. Malgré toutes les pertes de chaleur occasionnées par l'évaporation, par le

rayonnement et par le contact du milieu ambiant, l'animal maintient sa température propre ; cette production continuelle de chaleur est aussi un travail. Ajoutons enfin que l'entretien de la circulation du sang et des mouvements respiratoires exige un travail mécanique dont l'activité dépend d'une foule de conditions, les unes extérieures, les autres inhérentes à la constitution.

Tout ce travail, nécessaire au développement de l'individu et à la propagation de l'espèce, exige une dépense considérable de force. Chez l'animal, cette force incessamment consommée se manifeste sous trois formes principales : la production de chaleur, la contraction musculaire, l'action nerveuse. Le physiologiste doit rechercher, avec le plus grand soin, les origines de ces trois grandes activités et leurs rapports avec les agents ou modalités dynamiques du monde extérieur.

Malgré leur incontestable *spécialité*, les forces, dont les manifestations dynamiques de l'être vivant traduisent l'action, ne dérivent-elles pas par voie de transformation des agents du monde extérieur? ne sont-elles pas, comme eux, soumises à la loi de la *réciprocité?* Enrichie des précieux matériaux accumulés par l'observation et par l'expérience, la science est assez avancée pour fournir la solution de ces questions qui, sous une forme ou sous une autre, ont été agitées par toutes les écoles physiologiques.

ARTICLE PREMIER

HALEUR PRODUITE PAR LES ANIMAUX

Dans les conditions normales de leur développement et de leur existence, tous les animaux ont et conservent une température supérieure à celle du milieu, air ou eau, dans lequel ils vivent; quelle que soit leur place dans l'échelle des êtres, ils jouissent tous, mais à des degrés divers, de la faculté de produire incessamment de la chaleur.

Les animaux supérieurs, mammifères et oiseaux, ceux que, de tout temps, les naturalistes ont désignés par la dénomination d'animaux à *sang chaud*, résistent avec une telle énergie aux influences extérieures, qu'ils maintiennent leur température sensiblement constante sous toutes les latitudes et dans tous les climats. Dans leur voyage d'exploration aux régions polaires, le capitaine Parry et le capitaine Back ont constaté que des mammifères et des oiseaux peuvent maintenir leur température propre à 60 et même 79 degrés au-dessus de celle de l'atmosphère.

L'homme peut aussi braver les froids les plus excessifs sans que sa température propre soit notablement modifiée; il résulte des observations de J. Davy que la température des matelots ne s'élève

pas de plus de *un* degré, lorsque des climats froids de l'Europe septentrionale ils passent aux régions les plus chaudes de la zone intertropicale. — Ajoutons que la puissance de calorification des oiseaux est notablement supérieure à celle des mammifères; tandis que, suivant les familles et les espèces, la température propre des premiers varie entre 39°,44 et 43°,90, celle des seconds est comprise entre 35°,50 et 40°,50. — La résistance aux causes extérieures de refroidissement est un des caractères les plus remarquables des animaux des deux premières classes et leur donne la faculté de jouir de la plénitude de leur activité dans toutes les saisons de l'année et sous tous les climats. En mettant de côté les *hibernants* qui, au point de vue de la calorification, se rapprochent beaucoup des animaux inférieurs, les mammifères et les oiseaux méritent la désignation d'animaux à *température constante*. Les tableaux suivants, dont les éléments sont empruntés aux principaux observateurs qui se sont occupés de recherches de cette nature, en même temps qu'ils servent de justification à nos propositions générales, donnent une juste idée de l'étendue et de l'importance des variations individuelles de la température des animaux.

TEMPÉRATURE DES OISEAUX

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	TEMPÉRATURE PROPRE DE L'ANIMAL
Pétrel	40°,30 40 ,80
Perroquet	41 ,10
Oie commune	41 ,70
Choucas	42 ,10
Chat-huant	40 ,00 40 ,91
Chouette	41 ,47
Héron	41 ,00
Moineau bien couvert de plumes	39 ,08
Moineau commun	41 ,67 41 ,96 42 ,10
Bruant	42 ,88
Tiercelet	41 ,47
Pigeon	41 ,80 41 ,90 42 ,00 42 ,10 42 ,50 42 ,98 43 ,00 43 ,30
Coq	39 ,44 40 ,00
Coq d'Inde	42 ,70
Poule des jungles	42 ,00 42 ,50
Poule de Guinée	43 ,90
Poule commune	39 ,44 40 ,00 41 ,50 42 ,20 43 ,30 43 ,90

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	TEMPÉRATURE PROPRE DE L'ANIMAL
Grive commune	42°,80
Canard commun	42 ,50 43 ,90
Corneille	41 ,17
Corbeau	42 ,91

TEMPÉRATURE DES MAMMIFÈRES

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	TEMPÉRATURE PROPRE DE L'ANIMAL
Cheval de France	36°,80
Cheval arabe	37 ,50
Rat commun	38 ,80
Lièvre commun	37 ,80
Tigre	37 ,20
Chat commun	38 ,30 38 ,50 38 ,90
Écureuil	38 ,80
Panthère	38 ,90
Chien	37 ,40 39 ,00 39 ,48 39 ,60
Élan femelle	39 ,40
Singe	35 ,50 39 ,70
Mouton	37 ,30 38 ,00 39 ,50 40 ,00 40 ,50
Ichneumon	39 ,40
Chèvre	40 ,00
Bouc châtré	39 ,50
Ane	36 ,95
Anesse	37 ,98

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	TEMPÉRATURE PROPRE DE L'ANIMAL
Jackal	38°,30
Bœuf	37 ,50
Cabiai	35 ,76
	38 ,00
	38 ,40
	39 ,00
Lapin	37 ,50
	38 ,00
	39 ,60
	39 ,70
	40 ,00
Marsouin	35 ,62
	37 ,80
Lamantin	38 ,89
	40 ,00

La température de l'homme prise à la racine de la langue varie moyennement entre 37°,09, et 37°,30; sous l'aisselle, elle oscille, d'après nos observations personnelles, entre 36°,50 et 37°,50.

Pour donner une idée de la résistance que les mammifères et les oiseaux opposent aux causes extérieures de refroidissement, nous devons rapporter ici les résultats suivants empruntés au capitaine Parry et au capitaine Back.

OISEAUX

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL	TEMPÉRATURE DE L'AIR	DIFFÉRENCE
Gélinotte noire d'Amérique (mâle)	43°,2	— 12°,8	56°,0
Id. Id. Id.	43 ,0	— 15 ,0	58 ,0

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL	TEMPÉRATURE DE L'AIR	DIFFÉRENCE
Gélinotte noire d'Amérique (femelle)	42°,8	— 8°,3	51°,1
Id. Id. Id.	42,3	— 8,0	50,3
Id. Id. Id.	42,8	— 1,1	43,9
Lagopède des saules (mâle). . . .	42,4	— 19,7	62,1
Id. Id. Id. .	43,3	— 32,8	76,1
Id. Id. Id. . .	43,3	— 35,8	79,1

MAMMIFÈRES

Renard arctique.	41°,5	— 25°,6	67°,1
Id. Id.	38,5	— 20,6	59,1
Id. Id.	37,8	— 19,4	57,2
Id. Id.	38,5	— 29,4	67,9
Id. Id.	37,6	— 26,2	63,8
Id. Id.	36,6	— 23,3	59,9
Id. Id.	37,6	— 23,3	60,9
Id. Id.	40,2	— 30,5	70,7
Lièvre blanc.	38,3	— 29,4	67,7
Renard.	37,8	— 26,2	64,0
Id.	41,1	— 35,6	76, 7
Id.	39,4	— 32,8	72,2
Id.	39,4	— 32,8	72,2
Id.	38,9	— 31,7	70,6
Id.	38,3	— 35,6	73,9
Loup.	40,5	— 32,8	73,3

Les animaux inférieurs, reptiles, poissons, articulés, mollusques, zoophytes, produisent aussi de la chaleur; c'est donc à tort que longtemps on leur a imposé la dénomination d'animaux à *sang froid*. Mais leur organisation n'est pas assez avancée, leurs fonctions ne peuvent pas atteindre un degré assez élevé d'activité pour rendre leur température indé-

pendante des influences extérieures. Des observations multipliées et convenablement exécutées ont pourtant établi qu'au milieu de ses variations continuelles, leur température reste constamment supérieure à celle du milieu ambiant, dont elle suit et traduit les oscillations. En raison de cette circonstance, la dénomination d'animaux à *température variable* leur convient très-bien. L'excès de la température de ces animaux sur celle de l'air ou de l'eau qui les entourent varie suivant les classes et les espèces et aussi suivant les saisons; toujours plus considérable en été qu'en hiver, il peut s'élever à *huit* degrés et s'abaisser jusqu'à un *minimum* de *deux dixièmes* de degré.

TEMPÉRATURE DES REPTILES

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	EXCÈS DE LA TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL SUR CELLE DU MILIEU AMBIANT
Vipère	5°,56
Crapaud accoucheur	0 ,12
Crapaud	0 ,50
	0 ,75
	2 ,80
Grenouille	0 ,04
	0 ,32
	0 ,50
	0 ,75
	2 ,44
	2 ,50
	2 ,70
	2 ,80
	4 ,44

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	EXCÈS DE LA TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL SUR CELLE DU MILIEU AMBIANT
Iguane	1°,22
Boa	2 ,50
Proteus anguinus	1, 25 2, 65 5, 67
Lacerta agilis	0 ,21 0 ,75 1 ,25 8 ,12
Lacerta viridis	de 4°,00 à 7 ,34
Emys Europea	de 1 ,56 à 3 ,54
Natrix lœvis	de 0 ,21 à 6 ,35
Natrix torquatus	de 0 ,32 à 3 ,74
Chersine græca	1 ,00
Anguis fragilis	0 ,47 0 ,50 2 ,40
Lacerta maculata	2 ,25
Lézard	de 0°,75 à 1 ,25
Orvet	de 0 ,87 à 1 ,00
Couleuvre	0 ,75 1 ,35 3 ,90
Couleuvre d'Esculape	3 ,10
Couleuvre verte	3 ,90
Serpent brun	1 ,10
Tortue terrestre	1 ,22 2 ,78 2 ,88
Tortue géométrique	0 ,90 3 ,90
Tortue de l'Ascension	2 ,90

TEMPÉRATURE DES POISSONS

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	EXCÈS DE LA TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL SUR CELLE DU MILIEU AMBIANT
Brochet	3°,88
Carpe	0 ,86 0 ,93 1 ,94 3 ,00
Anguille	0 ,93
Petits poissons	de 0°,62 à 0 ,93
Tanche	0 ,50 0 ,71
Requin	1 ,30
Truite	0 ,55 1 ,10
Poisson volant	0 ,20
Ablette	0 ,55
Grondin gris	0 ,65

TEMPÉRATURE DES ARTICULÉS ET DES ANNÉLIDES

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	EXCÈS DE LA TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL SUR CELLE DU MILIEU AMBIANT
Sphinx convolvuli	2°,56
Carabus hortensis	2 ,50
Scarabée	0 ,70
Ver luisant	0 ,50
Blatta orientalis	0 ,60
Grillon	5 ,80
Guêpe	0 ,50
Scarabée	0 ,25
Blatte	0 ,75
Larve d'oryctes	1 ,50
Chenille de ver à soie	1 ,00

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	EXCÈS DE LA TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL SUR CELLE DU MILIEU AMBIANT
Larve de sphinx atropos	1°,66
Bombus terrestris	0 ,55
Hanneton	0 ,25 1 ,77
Melolontha solstitialis	0 ,16 0 ,25
Lucanus cervus	0 ,22 0 ,88
Carabus monilis	0 ,05 0 ,18
Blaps mortisaga	0 ,11 0 ,12
Coccinella septempunctata	0 ,44
Meloe proscarabœus	0 ,83
Staphylinus olens	0 ,55
Staphylinus erythropterus	0 ,27
Gryllus veridissimus	0 ,31 0 ,34 0 ,94
Bombus lapidarius	0 ,18
Bombus hortorum	0 ,25
Xylocopa violacea	0 ,25
Carabus auratus	0 ,18
Cetonia aurata	0 ,25
Chrysomela tenebricosa	0 ,34
Scarabœus vernalis	de 0°,12 à 0 ,18
Gryllus verrucivorus	0 ,40
Gryllus gryllo-talpa	0 ,16
Gryllus campestris	0 ,40
Sphinx stellatarum	0 ,29
Sphinx atropos	0 ,58
Sangsues	de 0 ,56 à 0 ,85
Vers de terre	de 1 ,11 à 1 ,39
Maja squinado (sous l'eau)	0 ,30
Maja squinado (dans l'air)	0 ,60
Maja squinado (portant des œufs)	0 ,90
Squilla mantis (mourant)	0 ,10

TEMPÉRATURE DES MOLLUSQUES

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	EXCÈS DE LA TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL SUR CELLE DU MILIEU AMBIANT
Limace	0°,11 0 ,13 0 ,25
Limaçon à coquille	2 ,22 3 ,90
Escargot	0 ,90
Eledone moschata	0 ,90
Octopus vulgaris	0 ,20 0 ,60
Aplysia leporina (dans l'eau)	0 ,10 0 ,30 0 ,50 0 ,80
Aplysia leporina (dans l'air)	0 ,60

TEMPÉRATURE DES ZOOPHYTES

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	EXCÈS DE LA TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL SUR CELLE DU MILIEU AMBIANT
Ophiura lacertosa	0°,30
Holothuria tubulosa (dans l'air)	0 ,20 0 ,50 0 ,60
Holothuria tubulosa (sous l'eau)	0 ,50
Pelagia denticulata	0 ,20 0 ,40 0 ,50 0 ,75 1 ,00
Ascidiæ (sous l'eau)	0 ,25
Actinia concentrica	0 ,20 0 ,30

DÉSIGNATION DE L'ANIMAL	EXCÈS DE LA TEMPÉRATURE DE L'ANIMAL SUR CELLE DU MILIEU AMBIANT
Actinia mesembryanthemum	0°,20 0 ,30 0 ,50
Asterias rubens	0 ,60
Echinus saxatilis	0 ,40
Echinus brevi-spinalis	0 ,50

M. Valentin résume ainsi qu'il suit ses recherches personnelles sur les animaux inférieurs. Moyennement, l'*excès de la température de l'animal sur celle du milieu ambiant est :*

Chez les polypes	0°,21
Chez les méduses	0 ,27
Chez les échinodermes	0 ,40
Chez les mollusques	0 ,46
Chez les céphalopodes	0 ,57
Chez les crustacées	0 ,60

Ces observations démontrent que, chez ces animaux inférieurs, la résistance aux causes extérieures de refroidissement, et par suite la faculté de produire de la chaleur, est d'autant plus considérable que leur organisation est plus parfaite.

De toutes les questions soulevées en physiologie générale, il n'en est pas qui ait été plus souvent et plus vivement agitée que celle de l'origine de la chaleur animale. — Pour les anciens, la chaleur animale était la manifestation d'une force spéciale,

indépendante des agents extérieurs et tenant sous sa domination toutes les fonctions de l'économie. Indiquée déjà dans les écrits hippocratiques, cette interprétation des faits fut adoptée par Aristote et Galien et, sous la dénomination de théorie de *la chaleur innée*, régna sans conteste dans l'école aussi longtemps que l'autorité du philosophe de Stagyre et du médecin de Pergame. Sans chercher, du reste, à se rendre compte de son mode de production, les partisans de cette théorie n'hésitaient pas à placer dans le cœur le siége du dégagement de cette chaleur; les uns affirmaient, avec Aristote, que le sang s'échauffe dans le ventricule *droit;* d'autres soutenaient, avec Galien, que la chaleur est produite dans le ventricule *gauche. Unde demum is in corde calor nasceretur*, *veteres*, *unice securi*, *quærere supersederunt*, dit Haller[1]. Quelques auteurs poussèrent même l'oubli de toute notion de physiologie jusqu'à affirmer que, chez l'animal vivant, la température du cœur est assez élevée pour causer une sensation pénible à la main qui le toucherait imprudemment.

Vivement attaquées, tour à tour abandonnées et reprises, profondément modifiées dans les détails, ces hypothèses n'ont jamais complétement disparu de la science et se sont propagées jusqu'à nos jours. — J. Hunter, dont les travaux ont si puissamment

[1] *Elementa physiologiæ,* tome II, page 287.

contribué aux progrès de la physiologie, faisait dépendre la production de la chaleur d'un *principe spécial*, *indépendant de la circulation*, *de la sensation et de la volition*, d'une *force vitale* à laquelle il reconnaissait en outre *la faculté de détruire la chaleur en excès*, et dont il plaçait le *siége dans l'estomac*[1].

Pour Barthez et son école, la chaleur animale est le résultat des frottements et des agitations des parties solides et des liquides de l'économie déterminés, entretenus par l'*action des forces du principe vital;* si la température des animaux supérieurs reste constante au milieu des variations incessantes des conditions thermiques ambiantes, c'est que chez eux le principe vital sait modifier son activité et les agitations des fibres solides, de manière à proportionner la production de chaleur à l'intensité des causes extérieures de refroidissement. Mais cela ne suffit pas pour tout expliquer, et Barthez ne recule devant aucune hypothèse pour sauvegarder l'autocratie du principe vital. « Les mouvements qui produisent la chaleur vitale, dit-il[2], ne se continuent point un certain temps avec la même force dans les solides et les fluides, sans faire monter leur échauf-

Œuvres complètes, traduction de G. Richelot, tome I, page 366. — Tome III, page 377. — Tome IV, page 208.

Nouveaux éléments de la science de l'homme. Deuxième édi on, tome Ier, page 303.

fement au delà du terme qui est marqué à la chaleur naturelle de chaque animal. C'est pourquoi, lorsque le progrès de cet échauffement va dépasser considérablement ce terme, *il est arrêté par le refroidissement qu'opère la respiration renouvelée.* On peut donc regarder l'air respiré comme étant en quelque sorte le *régulateur* de la chaleur trop forte qui serait produite d'ailleurs par le principe vital. »

Ce n'est pas tout encore. Si la température des animaux vivants est, dans certains cas, inférieure à celle du milieu ambiant, c'est que le principe vital peut soustraire leurs corps aux lois de la communication et de la conduction de la chaleur. « Lorsque, dit Barthez[1], l'homme vivant doit rester moins chaud que l'air extérieur et les corps environnants, il ne suffit pas que la force génératice de la chaleur vitale soit diminuée, ou même entièrement arrêtée : mais il faut encore une autre cause existante dans le corps de cet homme, qui l'*empêche de recevoir la communication de la chaleur extérieure comme la reçoivent les corps environnants qui sont inanimés.* — Cette cause intérieure ne peut être qu'*une action particulière du principe de la vie* dans le corps humain, qui en *fixe toutes les parties avec un tel effort qu'elles sont moins susceptibles du mouvement de chaleur qui pourrait leur être communique du de-*

[1] *Nouveaux éléments de la science de l'homme,* tome Ier, p. 290.

hors. — Le principe vital ne se borne point alors à arrêter tous les mouvements des solides et des fluides, par lesquels il pourrait exciter la chaleur animale; mais *il contracte les fibres avec la plus grande violence, pour résister à la dilatation que tend à y produire la chaleur de l'air et des corps extérieurs.* » — Comment après avoir écrit le beau Discours préliminaire des *Nouveaux éléments de la science de l'homme*, Barthez a-t-il pu se laisser entraîner dans de telles erreurs? C'est qu'infidèle aux *Règles fondamentales de la vraie méthode de philosopher*, qu'il avait développées avec tant de supériorité, placé en dehors de la voie expérimentale, cet esprit éminent n'écoutait plus que les inspirations de son imagination.

A une époque plus rapprochée de nous, alors que les connaissances étaient assez avancées pour ne laisser aucun doute sur l'inanité de semblables doctrines, deux habiles observateurs, Brodie et M. Chossat ont fait de vains efforts pour localiser, le premier dans le système nerveux de la vie de relation, le second dans le grand sympathique, le principe producteur de la chaleur animale.

Au seizième siècle, une révolution profonde s'opéra dans les sciences ; l'esprit de libre examen pénétra dans les écoles, qui secouèrent enfin le joug, usque-là incontesté, des doctrines d'Aristote et de Galien. Les physiologistes étudièrent de plus près

les rapports des êtres vivants avec le monde extérieur; ils s'efforcèrent de démontrer que la chaleur animale est produite par les réactions chimiques accomplies dans les profondeurs de l'économie. Émise par Van Helmont, adoptée avec enthousiasme par ses élèves, cette idée était grande et vraie; mais la science n'était pas assez avancée pour la faire triompher. En renversant la théorie de la *chaleur innée*, les *chimiatres* rendirent sans doute un grand service à la biologie; mais ils compromirent l'avenir de leur œuvre, en ne comprenant pas assez que les notions incomplètes et souvent erronées d'une chimie encore à l'état embryonnaire, ne pouvaient pas leur fournir les bases d'un édifice durable. — Cependant la doctrine de Van Helmont et de Sylvius, restée la même au fond, s'était successivement modifiée, épurée et avait pris sous la plume de Stevenson et de Hamberger une forme très-remarquable; le premier considérait la chaleur animale comme le résultat des *transformations incessantes* des aliments et des humeurs de l'économie, le second assimilait les réactions dont le sang est le siége aux phénomènes de la *combustion spontanée* des amas de fumier et des matières végétales.

Quand on veut se faire une juste idée des immenses progrès qu'avait faits la théorie de la chaleur animale dans les dernières années du règne des chimiatres, il faut consulter les travaux de Jean

Mayow publiés en 1674[1]. Enlevé à la science à l'âge de trente-quatre ans, au moment où il poursuivait ses recherches avec ardeur, Mayow commence par établir que l'air fournit un des éléments constituants de l'*esprit de nitre* (acide azotique). Pour lui, cet élément emprunté à l'air, qu'il appelle *esprit nitro-aérien*, est l'agent de toute combustion et de toute fermentation; c'est lui qui transforme en *rouille* la poudre de fer exposée à l'action de l'air humide; c'est encore lui qui s'unit à l'antimoine calciné, modifie les propriétés et *augmente le poids* du métal. — Mayow s'occupe ensuite de la respiration[2]; il montre que, dans le poumon, l'air cède au sang une partie de son esprit *nitroaérien;* ce dernier élément se combine avec les parties *sulfureuses* (combustibles) du sang, transforme le sang veineux *noirâtre* en sang artériel *rutilant*, détermine une fermentation dans le torrent circulatoire, et finalement produit la chaleur nécessaire au maintien de la température des animaux. Privé de son esprit nitroaérien, l'air de l'expiration est par cela même impropre à entretenir la vie des animaux. A chaque page de son ouvrage, il reproduit cette idée que, sans *esprit nitroaérien*, la vie n'est pas possible à la surface du globe. Cet esprit nitro-aérien qu'il n'a ja-

[1] *Tractatus quinque medico-physici.* Oxonii, e theatro sheldoniano. An. Dom. MDCLXXIV.

[2] *Loco citato*, de Sal nitro et spiritu nitro-æreo, *passim.*

mais isolé, mais dont la raison lui démontre l'existence, il l'appelle successivement : *Spiritus vitalis*, *instrumentum vitæ*, *elixir vitæ summe necessarium*. — Le but réel de la respiration est de rendre l'esprit *nitroaérien* au sang que les veines rapportent au cœur; si le système veineux versait dans le cœur du sang artériel, c'est-à-dire riche en esprit nitroaérien, la respiration serait inutile. « Et hoc, ajoute-t-il[1], inde confirmari videtur, quod dum sanguis arteriosus ex uno cane in alterum, noto jam experimento, transmittitur, canis in quem sanguis transfertur, quamquam *antea anhelus*, et *intense respirans*, sanguine tamen arterioso intus recepto, *vix omnino respirare* videtur. »

Convaincu que cet élément de l'air, cet esprit *nitroaérien*, est indispensable au développement comme à l'entretien de la vie de l'animal, Mayow n'hésite pas à affirmer que le fœtus respire dans le sein de sa mère. Après avoir longtemps cherché les voies par lesquelles peut s'opérer cette respiration, il déclare que les vaisseaux ombilicaux et le placenta sont un véritable appareil respiratoire : « His præmissis, dit-il[2], statuimus, sanguinem embryi per arterias umbilicales ad placentam delatum, non tantum succum nutritium, sed una cum eodem particularum *nitroærearum* portiunculam commeatu suo ad fœtum ad-

[1] *Loco citato*, de Respiratione, page 321.
[1] *Loco citato*, de Respiratione, page 319.

vehere : plane ut sanguis infantuli per circulationem suam in vasis umbilicalibus factam, eodem modo ac idem in vasis pulmonalibus, particulis *nitro-æreis* imprægnari videatur. Proinde ut placentam non amplius jecur, sed potius pulmonem uterinum, nuncupandam esse arbitrer. »

A l'époque où Mayow exécutait ses travaux, le grand principe de l'indestructibilité de la matière n'était pas encore introduit dans la science, la balance n'intervenait que *très-exceptionnellement* dans les recherches de la chimie, les procédés d'investigation étaient incomplets et souvent vicieux. Sans autre guide que leur génie, les esprits éminents de l'école chimiatrique ont souvent entrevu, deviné la vérité, mais en réalité ils n'ont rien démontré d'une manière décisive. Ces passages, dans lesquels ils ont consigné le fruit de leurs méditations et que nous aimons à tirer de l'oubli où ils sont tombés, nous apparaissent dans leurs écrits comme des assertions sans preuves à l'appui, ou déduites d'explications et de théories inadmissibles. Si ces éclairs de génie sont insuffisants pour constituer une science, ils mettent du moins en lumière la fécondité de la voie que les travaux de l'école chimiatrique avaient ouverte aux physiologistes.

Bientôt les esprits prirent une nouvelle direction : le sceptre de la biologie passa aux mains des médecins mécaniciens et mathématiciens. Les propriétés

mécaniques des tissus et des liquides furent considérées comme la cause déterminante de tous les phénomènes de l'économie. La théorie de la calorification n'échappa pas à cette réaction; la chaleur animale ne fut plus que le résultat du frottement du sang contre les parois des vaisseaux et surtout des capillaires. Ces doctrines sans portée et sans avenir, dont Hales a donné une excellente exposition dans son *Hémostatique*, séduisirent le grand Haller lui-même, comme le prouve le passage suivant de son traité de physiologie[1] : «Hactenus certe maxime probabile videtur, utique a motu sanguinem incalescere, et si nondum constat, quare magis quam aqua, et quare non super certum gradum incalescere possit. » — Cet envahissement de considérations empruntées aux mathématiques et à la mécanique souleva parmi les physiologistes une réaction à laquelle s'associèrent de grands esprits étrangers aux études médicales.

Révolté par cette manie de demander à l'algèbre l'explication des phénomènes de la vie, qui poussait des hommes d'un grand mérite à chercher leur point de départ dans de vaines hypothèses alors que l'expérience leur faisait défaut, d'Alembert dénonça en termes très-vifs, dans le Discours préliminaire de l'*Encyclopédie*[2], l'inanité de ces tentatives d'autant

[1] *Elementa physiologiæ,* tome II, page 307.
[2] Discours préliminaire de l'*Encyclopédie,* p. XII.

plus dangereuses qu'elles cachaient le vide de la pensée première et l'erreur de la conclusion sous une apparence trompeuse de profondeur et de précision.

« On a voulu, dit-il, réduire en calcul jusqu'à l'art de guérir, et le corps humain, cette machine si compliquée, a été traitée par nos médecins algébristes comme la machine la plus simple ou la plus facile à décomposer. C'est une chose singulière de voir ces auteurs résoudre d'un trait de plume des problèmes d'hydraulique et de statique capables d'arrêter toute leur vie les plus grands géomètres. Pour nous, plus sages ou plus timides, contentons-nous d'envisager la plupart de ces calculs et de ces suppositions vagues comme des jeux d'esprit auxquels la nature n'est pas obligée de se soumettre. »

Dans les dernières années du dix-huitième siècle, en même temps qu'il créait une science nouvelle en donnant à la chimie des bases inébranlables, Lavoisier tourna ses vues vers la physiologie et fixa plus spécialement son attention sur les phénomènes de la nutrition. Les matières alimentaires introduites dans l'estomac, digérées, liquéfiées, sont absorbées et versées dans les vaisseaux, où elles se mêlent au sang; d'autre part, l'air introduit à chaque inspiration dans la cavité pulmonaire cède au sang une partie de son oxygène. Frappé de ce double mouvement centripète, Lavoisier se demanda ce

que deviennent ces matières mises en présence dans les vaisseaux de la circulation sanguine. Procédant à cette recherche avec toute la rigueur de l'analyse chimique, il démontra que l'oxygène introduit par les voies respiratoires attaque les substances organiques fournies par la digestion, les brûle, se combine avec leur carbone et leur hydrogène pour former de l'acide carbonique et de l'eau. Il montra que cette combustion lente des matériaux organiques du sang est une source incessante de chaleur dont il chercha à constater la puissance.

Des expériences, instituées et exécutées avec une précision jusque-là inconnue, lui permirent de déterminer la quantité de chaleur enlevée à l'animal par le rayonnement, par le contact de l'air et aussi par l'évaporation des liquides à la surface de la peau; d'autre part, il mesura la quantité d'oxygène consommée, évalua les proportions d'acide carbonique et d'eau produits par la combinaison de cet oxygène avec les matériaux du sang, et calcula la quantité de chaleur dégagée pendant ces réactions. De la comparaison des résultats de ces deux séries d'observations, il conclut que les réactions chimiques accomplies dans les profondeurs de l'économie fournissent assez de chaleur pour maintenir la température propre des animaux. Pour vérifier l'exactitude de cette proposition fondamentale, Lavoisier étudia l'intensité de ces combustions intérieures

dans les conditions les plus diverses de repos, de travail, d'alimentation et de composition du milieu ambiant. Dans son beau mémoire de 1789, il fit connaître les résultats de ses recherches, et posa d'une manière définitive les vrais principes de la théorie de la chaleur animale.

« La machine animale, dit-il[1], est principalement gouvernée par trois régulateurs principaux : la respiration, qui consomme de l'hydrogène et du carbone et qui fournit du calorique; la transpiration, qui augmente ou diminue suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique; enfin la digestion, qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration. »

Mais où se passe la combustion des matériaux du sang? s'effectue-t-elle dans le poumon ou dans les capillaires généraux? Lavoisier s'était posé ces questions sans les résoudre. Bientôt Spallanzani dissipa tous les doutes à ce sujet; il montra qu'un animal placé dans un milieu gazeux privé d'oxygène continue à exhaler de l'acide carbonique; il établit ainsi que les capillaires généraux sont le véritable siége des combustions respiratoires. — L'exactitude de ces expériences de Spallanzani a reçu depuis deux confirmations éclatantes : d'une part, M. Magnus a démontré que le sang veineux et le sang artériel con-

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences.* 1789, page 580.

tiennent trois gaz à l'état de liberté (l'oxygène, l'acide carbonique et l'azote), et que l'oxygène prédomine dans le sang artériel; d'autre part, M. Malgaigne et plus tard M. C. Bernard, en constatant que la température est plus élevée dans le ventricule droit que dans le ventricule gauche du cœur, ont établi que le sang se refroidit dans son trajet à travers le poumon, qui dès lors ne peut pas être le siége d'une combustion.

Dans ces dernières années, M. Boussingault a introduit dans la science une nouvelle méthode d'expérimentation qui a singulièrement élargi le cadre des observations physiologiques. Adoptée et pratiquée par des physiologistes d'un très-grand mérite, cette méthode a déjà rendu de grands services; elle repose sur des principes très-simples et d'une exactitude incontestable.

1° Un animal *adulte*, pris dans un état normal de nutrition et de santé est soumis à la *ration d'entretien;* les aliments sont fournis dans des proportions telles que son poids reste *invariable*. Les matériaux fournis par les aliments entrent, se fixent dans l'organisme, en se modifiant, pour remplacer ce qui est journellement éliminé par le jeu des fonctions. Mais l'animal ne *perd* ni ne *gagne en poids;* une somme équivalente en *nature* et en *poids* à la matière élémentaire des *aliments consommés* doit donc se retrouver *en totalité* dans les *déjections*, les *sécrétions* et

les *produits des organes respiratoires et de la peau.*

2° L'air ne fournit à l'animal que de l'*oxygène* qui est éliminé *en totalité* sous forme d'eau et d'acide carbonique. Les expériences de MM. Dulong, Despretz et V. Regnault s'accordent, en effet, pour montrer que, loin d'emprunter de l'azote à l'atmosphère, l'animal élimine au contraire par le poumon, à l'état de gaz libre, une partie de celui que lui fournissent les matières alimentaires.

La méthode d'analyse adoptée par M. Boussingault peut se résumer ainsi : tenir compte de tout ce que l'animal introduit, sous forme solide et liquide, dans le tube digestif, de tout ce qu'il expulse au dehors en excréments solides et liquides et retrancher cette seconde quantité de la première. La différence représente nécessairement en nature et en poids ce que l'animal a perdu par les organes respiratoires et par l'exhalation cutanée.

Nous avons exposé, dans notre *Traité de la chaleur animale*, avec tous les détails convenables, les recherches de M. Boussingault; malgré la différence des méthodes suivies, l'accord le plus parfait existe entre les résultats obtenus par ce savant observateur et les principes proclamés par Lavoisier dès 1789. — De son côté, M. Letellier s'est plus spécialement proposé de déterminer l'influence de la température extérieure sur l'intensité des combustions respiratoires. Comme la théorie de Lavoisier permettait de

le prévoir, il a démontré que, chez les mammifères et les oiseaux, l'exhalation d'acide carbonique, et, par suite, la production de chaleur, augmente à mesure que la température du milieu ambiant s'abaisse.

Bien que toutes les substances alimentaires soient combustibles, elles sont loin de posséder toutes le même pouvoir calorifique; en brûlant, les huiles et les graisses fournissent, à poids égal, à peu près trois fois plus de chaleur que les sucres et les matières amylacées. L'homme doit donc modifier son régime alimentaire suivant les saisons et les climats, pour maintenir sa température propre sensiblement constante dans des conditions si différentes de température extérieure. L'observation de tous les jours et les récits des voyageurs déposent en faveur de l'exactitude de ces indications théoriques. En été, et dans les pays chauds, les fruits, les légumes frais et les féculents entrent dans l'alimentation pour une plus forte proportion qu'en hiver et dans les climats froids. L'homme du Nord consomme une quantité d'aliments beaucoup plus considérable que l'habitant des contrées méridionales; à mesure qu'il avançait vers les régions polaires, le capitaine Ross était dans la nécessité d'augmenter beaucoup les rations de vivres des marins de son équipage.

Misérablement vêtus, vivant presque sans feu, les Esquimaux ont, au dire des voyageurs, tous les attributs d'une race forte, saine, vigoureuse. Ces peu-

ples ont adopté un régime alimentaire qui permet de comprendre la résistance presque incroyable qu'ils opposent à l'action d'un climat aussi rigoureux. Ils consomment habituellement 8 kilogrammes par jour de chair crue, contenant un bon tiers de graisse; ils avalent, en outre, avec délices des morceaux d'huile de baleine congelée. Le docteur Hayes, chirurgien de la seconde expédition des États-Unis au pôle arctique, raconte que les marins ne parvinrent à supporter sans peine le froid excessif auquel ils étaient exposés qu'à la faveur d'un régime analogue; il ajoute même qu'ils finirent par s'accoutumer à cette alimentation et la trouver de leur goût.

Développées, complétées par les travaux de Spallanzani, de MM. Dulong, Despretz, Magnus, Dumas, Liebig, Boussingault, V. Regnault, etc., les doctrines de Lavoisier donnent la véritable solution de l'un des plus beaux problèmes de la physiologie générale. Soumis à des causes incessantes et très-variées de refroidissement, l'animal consomme les matières organiques préparées par les plantes, les mêle à son sang, les brûle au moyen de l'oxygène emprunté à l'air, et produit ainsi la chaleur nécessaire pour lutter contre les influences extérieures et assurer le jeu régulier de ses fonctions. Mais, en brûlant, en revenant à leur forme minérale primitive, ces substances ne font que manifester leur *énergie potentielle* et rendre à l'animal la chaleur

empruntée au soleil par la plante qui les a fournies. C'est donc, en définitive, une partie de la chaleur de la radiation solaire, emmagasinée d'abord par la plante, que l'animal utilise pour maintenir sa température propre au milieu des conditions si diverses que créent autour de lui les variations incessantes de la température atmosphérique[1].

A quelque époque de son développement qu'on le prenne, l'animal emprunte constamment de l'oxygène au milieu ambiant, brûle les matériaux organiques de son sang, produit de l'acide carbonique, de l'eau et de la chaleur. La quantité d'oxygène consommée varie sans doute avec les conditions de travail et de repos, de veille et de sommeil, avec l'abondance et la nature de l'alimentation, avec la saison et les climats, mais au fond les relations de l'animal avec le monde extérieur restent toujours de même nature. — En est-il de même de la plante? le végétal, à toutes les époques de son développement, fonctionne-t-il comme un appareil réducteur? ses relations avec le monde extérieur restent-elles indépendantes des conditions du milieu ambiant auxquelles il se trouve soumis?

Toutes les observations s'accordent pour démontrer que, sous l'influence de l'insolation directe ou même de la lumière diffuse, le végétal, par ses feuilles et ses parties vertes, absorbe l'acide carbonique, le décompose, s'assimile son carbone et rend à l'atmo-

[1] Voy. aux Documents, IV.

sphère un volume égal d'oxygène. D'ailleurs, l'intensité de cette action réductrice est beaucoup plus considérable, lorsque la plante est exposée à l'action directe de la radiation solaire que lorsqu'elle est maintenue à l'ombre; des expériences comparatives de M. Boussingault[1], il résulte que, par décimètre carré et par heure, une feuille décompose moyennement $7^{cc},17$ d'acide carbonique au soleil et seulement $3^{cc},1$ à l'ombre. — Dans l'obscurité, les feuilles et les parties vertes exercent une action inverse sur l'atmosphère; elles absorbent de l'oxygène et exhalent de l'acide carbonique. Hâtons-nous d'ajouter que l'action comburante de la feuille dans l'obscurité est toujours beaucoup plus faible que son action réductrice à la lumière du jour. Les observations de M. Boussingault faites entre les mois de mai et d'octobre dans les circonstances les plus favorables, sur des feuilles fonctionnant entre huit heures du matin et cinq heures du soir, établissent qu'un décimètre carré de feuille a décomposé moyennement par heure $5^{cc},28$ d'acide carbonique. Les expériences du même observateur montrent que, dans l'obscurité, un décimètre carré de feuille ne produit par heure que $0^{cc},33$ d'acide carbonique. « Si l'on suppose, ajoute M. Boussingault, que les mêmes feuilles fonctionnent à l'équinoxe dans des

[1] Études sur les fonctions des feuilles. (*Annales de chimie et de physique*, IVe série, 1868, tome XIII, page 282.)

conditions de température et de milieu identiques à celles où j'ai observé, on arrive à cette conséquence qu'*un mètre carré* de surface verte décomposerait en douze heures de jour 6336 centimètres cubes de gaz acide carbonique, et produirait en douze heures de nuit 396 centimètres cubes de gaz acide carbonique. »

Ainsi, le végétal, par sa surface verte, joue pendant le jour le rôle d'un appareil réducteur, décompose l'acide carbonique, fixe le carbone qui doit entrer dans la composition de ses tissus et consomme la chaleur solaire pour opérer ce travail. Pendant la nuit, au contraire, cette surface verte devient un appareil de combustion, absorbe de l'oxygène, brûle les tissus du végétal, produit de la chaleur et exhale de l'acide carbonique. Si, malgré l'antagonisme de ces deux actions contraires, le végétal se développe et grandit, c'est que la fonction réductrice l'emporte beaucoup en activité sur la fonction comburante. Il résulte, en effet, du précédent calcul de M. Boussingault que si, en douze heures de nuit, un décimètre carré de surface verte brûle $0^{gr},214$ de carbone emprunté aux tissus du végétal et exhalé sous forme d'acide carbonique, un décimètre carré de surface verte fixe et fournit à la nutrition de végétal, en douze heures de jour, $3^{gr},416$ de carbone provenant de l'acide carbonique absorbé et décomposé.

Les observations déjà anciennes de M. Théodore de Saussure[1] ont établi que les fleurs absorbent constamment de l'oxygène, exhalent un volume sensiblement égal d'acide carbonique et sont, comme les animaux, de véritables appareils de combustion. L'intensité de cette consommation d'oxygène varie beaucoup avec l'espèce végétale à laquelle appartient la fleur observée; tandis qu'en vingt-quatre heures une fleur entière de Lis blanc n'absorbe que *cinq* fois son volume d'oxygène, une fleur entière d'Arum maculatum en absorbe *trente* fois son volume dans le même temps. La fleur produit constamment de la chaleur comme l'animal, et la quantité de chaleur développée est toujours proportionnelle à la quantité d'oxygène consommée. D'ailleurs une même fleur exhale toujours plus d'oxygène à l'état d'épanouissement complet qu'à l'état de bouton. — Dans une fleur complète, les *organes sexuels* consomment toujours plus d'oxygène que la *corolle*, et les organes *mâles* plus que les organes *femelles*. Enfin, dans les fleurs monoïques, les fleurs *mâles* consomment toujours plus d'oxygène que les fleurs *femelles*.

L'oxygène est indispensable à la germination; dans l'azote, l'hydrogène ou l'acide carbonique, la graine ne se développe pas. Lorsque, sous l'influence combinée de la chaleur, de l'humidité et de

[1] *Annales de chimie et de physique*. IIe série. 1822. Tome XXI, page 279.

l'oxygène, la germination commence, la graine absorbe de l'oxygène et exhale de l'acide carbonique. M. Boussingault[1] a fait germer, dans une assiette de porcelaine, sous l'influence de l'eau distillée et de l'air, des graines de Trèfle et de Froment. Il a d'abord déterminé les quantités de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote contenues dans un poids donné de graines *sèches avant la germination;* puis il a mesuré les quantités de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote qui restaient dans ces graines *desséchées* au moment où la *germination* avait atteint sa dernière période et où la *végétation* allait commencer pour les jeunes plantes. Il a ainsi trouvé que :

	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE	AZOTE
1 gramme de graine sèche de Trèfle contenant, avant la germination.	0gr,508	0gr,060	0gr,360	0gr,072
après la germination ne pèse plus que 0gr,853 et ne contient plus que.	0 ,394	0 ,050	0 ,317	0 ,072
Pertes.	0 ,114	0 ,010	0 ,043	0 ,000

	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE	AZOTE
1 gramme de graine sèche de Froment contenant, avant la germination.	0gr,466	0gr,058	0gr,441	0gr,035
après la germination ne pèse plus que 0gr,841, et ne contient plus que.	0 ,397	0 ,051	0 ,357	0 ,036
Pertes.	0 ,069	0 ,007	0 ,084	-0 ,001

[1] *Annales de chimie et de physique.* IIe série. 1838. Tome LXVII, page 5.

Pendant la *germination*, les graines, au lieu de créer des matières organiques, détruisent donc une partie de celles dont elles se composent. Les graines de Trèfle ont perdu les 0,167 et les graines de Froment les 0,159 de leur poids. Cette perte porte inégalement sur le carbone, l'hydrogène et l'oxygène. La quantité d'azote reste la même; la légère différence trouvée dans les graines de Froment rentre dans les limites des erreurs possibles et doit être négligée.

La perte de carbone, dans les deux cas, et surtout pour le Trèfle, est telle que, conformément aux expériences de de Saussure, la graine a dû emprunter de l'oxygène à l'air pour faire de l'acide carbonique. Mais il est remarquable de voir que l'oxygène et l'hydrogène perdus ne sont pas dans les rapports nécessaires pour faire de l'eau. Pour les graines de Trèfle, l'oxygène éliminé n'est pas en suffisante quantité pour brûler l'hydrogène; c'est le contraire pour les graines de Froment.

Dans l'acte de la germination, tout ne se borne donc pas, comme le pensait de Saussure, à une élimination d'acide carbonique et d'eau. Les phénomènes chimiques de cette première période de la vie du végétal sont plus complexes. Les analyses de M. Boussingault démontrent qu'une partie du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène perdus est éliminée sous forme d'une combinaison *ternaire*

non gazeuse. M. Boussingault, ayant constaté une réaction acide, en faisant germer des graines sur du papier de tournesol, pense que le corps ternaire formé est un *acide* qui s'échappe sous forme de vapeurs, lorsqu'on dessèche la graine germée avant d'en faire l'analyse.

Dans un travail sur la germination, M. Th. de Saussure[1] a démontré que les graines *oléagineuses* brûlent une partie des matières grasses qu'elles renferment. Dans ce cas, le volume d'oxygène absorbé l'emporte notablement sur celui de l'acide carbonique exhalé. La graine oléagineuse, pendant la germination, brûle évidemment du carbone et de l'hydrogène comme un animal.

Tout démontre donc que, pendant la germination, la graine emprunte à l'air une certaine quantité d'oxygène et brûle une partie de ses matières organiques constituantes. Cette réaction est la véritable source de la chaleur que dégagent les graines réunies en masses plus ou moins considérables dans les germoirs, et rend compte de l'excès de température qu'elles acquièrent.

En résumé, la fleur et la graine qui germent ont avec l'atmosphère les mêmes rapports qu'un animal; elles lui empruntent de l'oxygène, brûlent de la matière organique et produisent de la chaleur.

[1] *Bibliothèque universelle de Genève*. 1842. Tome XL, page 368.

La faculté de former de la matière organique de toutes pièces avec des éléments minéraux appartient donc exclusivement aux surfaces vertes des plantes; et encore n'est-ce que sous l'influence de la lumière solaire *directe* ou *diffuse* que ces surfaces vertes jouissent de cette faculté. C'est, en effet, seulement pendant le jour qu'elles absorbent l'acide carbonique, le décomposent, assimilent le carbone et rendent l'oxygène à l'atmosphère; véritables appareils de réduction, elles utilisent la chaleur solaire pour effectuer ce travail intérieur, et emmagasinent de la force en créant des matières organiques combustibles douées d'une grande énergie potentielle; pendant la nuit, elles deviennent, elles aussi, un appareil de combustion de très-faible intensité; elles empruntent de l'oxygène à l'air, brûlent une partie des tissus de la plante et produisent de la chaleur.

Les expériences de M. Boussingault démontrent l'existence d'une solidarité bien remarquable entre ces deux fonctions opposées que les surfaces vertes exercent alternativement et périodiquement. Les feuilles, en effet, peuvent être conservées longtemps séquestrées dans l'obscurité et dans un milieu *contenant de l'oxygène*, sans perdre la faculté de décomposer l'acide carbonique sous l'influence de la lumière. Mais, quand on les conserve un certain temps dans l'obscurité et dans de l'hydrogène, de l'azote ou de l'hydrogène protocarboné, ou même dans de

l'acide carbonique, elles éprouvent une sorte d'*asphyxie;* cette trop longue privation d'oxygène leur enlève complétement la faculté de réduire l'acide carbonique. Pour se nourrir, se développer, créer, sous l'influence de la lumière, de la matière organique aux dépens des éléments minéraux du milieu ambiant, la plante doit donc, par ses surfaces vertes et par intervalles, respirer comme un animal, c'est-à-dire absorber l'oxygène de l'air et brûler une partie de ses propres tissus.

Pour compléter l'histoire des rapports du végétal avec le milieu ambiant, nous devons chercher à déterminer par quel mécanisme et aux dépens de quels éléments s'opère le développement de la jeune plante, lorsqu'elle est constamment maintenue dans l'obscurité. M. Boussingault[1] a traité cette importante question avec sa supériorité habituelle dans un très-remarquable travail de physique végétale.

Indépendamment de l'embryon, véritable plante en miniature, organe d'un très-petit volume, qui fournira plus tard les racines, la tige et les feuilles, la graine contient un dépôt de substances amylacées, grasses et albuminoïdes accumulées dans le périsperme ou dans les cotylédons. Tant que dure la germination proprement dite, l'embryon respire comme un animal, absorbe l'oxygène de l'air, mo-

[1] *Annales de chimie et de physique.* IVe série. 1868. Tome XIII, page 219.

difie les éléments organiques du périsperme ou des cotylédons et les utilise pour former ses tissus propres. Cette évolution du germe s'accompagne constamment d'un développement de chaleur et d'une exhalation d'acide carbonique, résultats de la combustion d'une partie des matériaux organiques de la graine. — Bientôt la tige porte des feuilles épanouies; la végétation commence; l'appareil foliacé, sous l'influence de la radiation solaire, absorbe et décompose l'acide carbonique; la plante laisse échapper l'oxygène, retient le carbone et augmente de poids. Mais nous savons que cette assimilation du carbone n'a lieu que sous l'action de la lumière; dans l'obscurité, les feuilles perdent du carbone, comme en perdent en toute circonstance l'embryon et les racines.

« Une plante, dit M. Boussingault, pendant toute la durée de son existence, est donc réellement soumise à deux forces antagonistes tendant, l'une à lui soustraire, l'autre à lui fournir de la matière, et, selon que l'une de ces forces dominera l'autre, le poids de la plante diminuera ou augmentera.

« L'indice de la supériorité de la force assimilatrice est, de la part du végétal, une émission d'oxygène, quoiqu'il n'y ait pas seulement du carbone assimilé. L'indice de la supériorité de la force éliminatrice est une émission d'acide carbonique, bien qu'il n'y ait pas uniquement du carbone éliminé.

Suivant le rapport existant entre les deux forces que je viens de mentionner, rapport évidemment déterminé par l'intensité de la lumière et de la température, une plante produira de l'oxygène ou de l'acide carbonique en proportions fort variables, ou bien n'émettra ni l'un ni l'autre de ces deux gaz. C'est ainsi qu'il peut arriver que l'organisme d'un végétal placé dans un lieu *faiblement éclairé* reste en quelque sorte stationnaire pendant des mois entiers, comme j'ai eu l'occasion de l'observer. »

M. Boussingault s'est demandé ce qui adviendrait si on laissait l'embryon d'une graine se développer dans l'obscurité, c'est-à-dire dans des conditions telles que, les feuilles ne pouvant jamais décomposer l'acide carbonique de l'air, la force éliminatrice persiste seule. — Nous devons nous contenter ici d'analyser l'expérience relative à la végétation du Maïs ; les autres graines soumises simultanément à ce genre d'observation ont donné des résultats identiques.

M. Boussingault a semé 22 graines de Maïs dans un sol de pierre ponce humecté avec de l'eau et les a laissées se développer dans une *chambre obscure*. Au bout de vingt jours, chaque plant portait trois feuilles d'un jaune pâle dont les plus grandes avaient 30 centimètres et les plus courtes 8 centimètres de longueur; les tiges avaient 8 à 10 centimètres de hauteur sur 3 à 4 millimètres de

diamètre. Les racines, d'un blanc mat, étaient contournées, très-déliées; quelques-unes de ces fibrilles mesuraient 28 centimètres.

Les 22 graines ensemencées contenaient $1^{gr},202$ d'eau et $8^{gr},636$ de matière sèche.

Les 22 plants récoltés contenaient $68^{gr},731$ d'eau et seulement $4^{gr},529$ de matière sèche.

Pendant leur développement, ces 22 plants avaient donc emprunté au sol et fixé $67^{gr},529$ d'eau; en même temps, près de la moitié de la matière sèche des graines, $4^{gr},107$, avait été détruite. Poussant plus loin l'analyse, M. Boussingault a montré que les plants contenaient exactement la même quantité de matières minérales et de substances albuminoïdes que les semences; la perte avait donc exclusivement porté sur les matières grasses et amylacées. Il s'est assuré enfin que, pendant la végétation, une certaine quantité d'amidon avait été transformée en glucose et en cellulose et assimilée par les plants.

Lorsque la végétation s'opère dans l'obscurité et sur un sol dépourvu de toute espèce d'engrais, la plante donc n'emprunte rien à l'air ambiant et forme les parties solides de ses tissus aux dépens des matériaux organiques de la graine. Mais comme, dans ces conditions, l'absorption de l'oxygène, la combustion des matières organiques et l'exhalation d'acide carbonique continuent, il en résulte qu'après

dessiccation, la plante parvenue à son maximum de développement pèse en réalité beaucoup moins que la graine qui lui a donné naissance. Ces expériences établissent nettement que, dans l'obscurité, une plante développée, ayant tige, feuilles et racines, se comporte comme un animal, que la durée de son existence est limitée et dépend de la quantité de matières organiques déposées dans la graine, à côté de l'embryon, pour lui servir de nourriture. Comme l'animal, la plante dans l'obscurité absorbe donc l'oxygène de l'air, brûle les matières grasses et amylacées de ses aliments, produit de la chaleur, de l'eau et de l'acide carbonique.

L'identité ne s'arrête pas là; elle est complète. Si l'animal modifie par la combustion une partie de la matière albuminoïde de ses aliments et la transforme par combustion en un composé azoté cristallin, l'*urée*, que l'on rencontre dans ses excrétions, la plante, dépourvue d'organes excréteurs, fait subir à l'albumine de la graine une modification de même nature et la transforme en *asparagine*, principe azoté cristallin, qui s'accumule dans les sucs dont ses cellules sont remplies.

Ainsi donc, en résumé,—dans les conditions physiologiques normales :

Pendant toute la durée de la germination, l'embryon se développe aux dépens des matériaux orga-

niques de la graine, absorbe de l'oxygène, exhale de l'acide carbonique et produit de la chaleur.

En tout temps, les racines et les fleurs absorbent l'oxygène de l'air, exhalent de l'acide carbonique, vivent aux dépens des matières organiques de la plante qu'elles brûlent et produisent de la chaleur.

Dans l'obscurité, la plante tout entière, et par tous ses organes, se conduit comme un animal, consomme de l'oxygène, exhale de l'acide carbonique, brûle ses propres tissus et produit de la chaleur.

C'est seulement sous l'influence de la radiation solaire directe ou diffuse que les parties vertes du végétal utilisent la chaleur extérieure pour façonner la matière minérale et la transformer en matière organique.

L'énergie potentielle de la matière organique fabriquée pour la plante ne représente donc que la chaleur empruntée à la radiation solaire.

Lorsqu'il brûle, dans ses capillaires généraux, les matières alimentaires fournies par le règne végétal, l'animal ne rend *disponible* et ne peut *utiliser* qu'une quantité de force vive calorifique équivalente à la chaleur empruntée par la plante à la radiation solaire.

ARTICLE II

CONTRACTILITÉ MUSCULAIRE

Sous l'influence d'une excitation de nature quelconque, la fibre musculaire se raccourcit. La *contractilité* est l'*énergie essentielle*, l'*activité propre* du muscle; elle se manifeste encore quelque temps après la mort, et la durée de sa persistance est d'autant plus longue que l'animal est plus bas placé dans l'échelle des êtres. A mesure que l'organisation se perfectionne, les diverses parties de l'être vivant sont dans une solidarité plus étroite, et leurs activités spéciales survivent moins longtemps à l'activité de l'ensemble. Chez les poissons et les reptiles, surtout en hiver, on a pu constater que les muscles se contractent encore *une semaine* après la mort; chez les mammifères et les oiseaux, *quelques heures* suffisent pour faire disparaître toute trace appréciable de contractilité. Dans ses expériences sur des cadavres de décapités, Nysten[1] a montré que, chez l'homme, la persistance de la contractilité n'est pas de même durée dans tous les muscles de l'économie; d'après cet habile observateur, les con-

[1] *Recherches de physiologie et de chimie pathologiques.* Paris, 1811, page 307.

tractions provoquées par l'excitation électrique disparaissent au bout de 45 minutes dans les parois du ventricule gauche et d'*une* heure dans celles du ventricule droit du cœur, tandis qu'on les observe encore après *sept* heures dans les muscles des membres, et même après *seize* heures dans les fibres musculaires des oreillettes du cœur.

Quelle que soit la nature, physique, mécanique ou chimique, de l'agent employé, l'excitation, d'abord communiquée au nerf dont les ramifications se distribuent dans un muscle, est transmise aux fibres de ce muscle et détermine une contraction. Mais l'intervention du système nerveux est-elle une condition nécessaire de la mise en jeu de la contractilité? une excitation portant directement sur la fibre musculaire ne peut-elle pas aussi provoquer une contraction? Telle est la question très-importante qui, depuis Haller, divisait profondément les physiologistes et dont la solution a été donnée par les recherches modernes. — Sur des chiens vivants, M. Longet[1], après avoir coupé en travers tantôt le nerf sciatique, tantôt le facial, a étudié la distribution de l'excitabilité dans leurs branches terminales désormais séparées de la moelle épinière et en même temps la contractilité des masses musculaires dans lesquelles ces nerfs se ramifient.

[1] *Traité de physiologie*. 3e édition, 1869, tome II, page 604.

Au bout de *quatre jours*, toute trace appréciable d'excitabilité avait disparu dans les ramuscules nerveux les plus ténus et les plus profonds, tandis que *trois mois* après, le moindre stimulant appliqué directement aux muscles déterminait encore de fortes contractions. Ces expériences démontrent que la contractilité est une *activité propre* de la fibre musculaire. Lorsque les nerfs moteurs interviennent dans la contraction, ils ne font que transmettre aux muscles les excitations internes ou externes. — Plus tard, M. C. Bernard est arrivé aux mêmes conclusions par une voie différente. Les sauvages d'Amérique savent préparer un poison végétal très-énergique, le *curare*, dont ils enduisent leurs armes, quand ils partent pour la guerre ou pour la chasse. Ce poison jouit de la propriété bien établie aujourd'hui de soustraire complétement le système musculaire à l'influence du système nerveux, sans du reste altérer les propriétés fondamentales des nerfs. M. C. Bernard a montré que, chez les animaux empoisonnés par le curare, les masses musculaires ne sont plus influencées par les excitations les plus énergiques du système nerveux, et qu'elles continuent à se contracter fortement quand on les soumet à l'action directe d'un irritant quelconque.

Après avoir établi que la contractilité musculaire est indépendante de l'action du système nerveux,

M. Longet[1] a étudié les rapports de l'énergie du muscle et de la circulation sanguine. Depuis les expériences de Swammerdam[2] et de Sténon[3] sur les chiens, on savait que les *mouvements volontaires* des membres postérieurs sont abolis à la suite de la ligature de l'aorte descendante et reparaissent, avec leur énergie première, dès que le cours du sang artériel est rétabli. M. Longet s'est posé une question bien différente; il s'est proposé de déterminer si un muscle *privé de sang artériel* conserve encore la *propriété de se contracter*, *quand on le soumet à une excitation directe*. De ses nombreuses expériences sur les animaux il résulte que toute trace d'*excitabilité* disparaît *en deux heures* dans un muscle qui ne reçoit plus de sang artériel, et qu'il suffit de permettre de nouveau l'afflux de ce sang artériel pour que, en *quelques minutes*, le muscle recouvre la propriété de se contracter sous l'influence d'une excitation directe ou indirecte. Mais le sang artériel contient : d'une part, les matériaux de réparation préparés par la digestion, et, d'autre part, tout l'oxygène cédé dans le poumon par l'atmosphère; ce liquide est, en réalité, l'agent de toute nutrition. De son côté, M. Becquerel[4] a démontré que la tem-

[1] *Traité de physiologie.* 3e édition, 1869, tome II, page 613.

[2] *Tractatus phys.-med.*, de Respiratione et usu pulmonorum. Leyde, 1667, page 62.

[3] *Biblioth. anat.* de Manget, tome II, de Motu musculari.

[4] *Annales de chimie et de physique*, IIe série, 1835, t. LIX, p. 155.

pérature d'un muscle s'abaisse sensiblement quand on comprime son artère nourricière; nous sommes donc autorisé à affirmer que la solidarité la plus étroite existe entre la contractilité et les phénomènes de combustion qui s'accomplissent dans la trame des vaisseaux capillaires des muscles.

Dans les muscles, comme dans tous les organes et tous les tissus, les matériaux organiques du sang sont incessamment attaqués par l'oxygène; brûlés, soumis à une série de combustions successives qui simplifient graduellement leur composition, ils sont ramenés aux formes définitives sous lesquelles ils sont entraînés par la circulation veineuse, et rejetés au dehors par le poumon, la peau et les divers émonctoires de l'économie.

Toutes les observations s'accordent, d'ailleurs, pour démontrer que l'activité de ces combustions internes augmente pendant la contraction du muscle. Il résulte, en effet, des nombreuses expériences tentées dans cette direction, que les muscles en contraction absorbent plus d'oxygène et exhalent plus d'acide carbonique que les muscles au repos. L'étude comparative de la composition du sang veineux et du sang artériel des masses musculaires fournit une nouvelle preuve de cette plus grande intensité des combustions pendant la contraction; le sang veineux contient 6,75 pour 100 d'acide carbonique de plus que le sang artériel quand le muscle est à l'état de

repos, et 10,79 pour 100 de plus quand le muscle se contracte. — Dans un bocal de verre bien exactement fermé, M. Matteucci[1] a placé cinq grenouilles préparées à la Galvani ; dans un second bocal de même dimension, il a enfermé cinq grenouilles parfaitement semblables dont les muscles étaient mis en contraction au moyen d'un appareil d'induction. Au bout de sept à huit minutes, il a rapidement retiré les deux groupes de grenouilles et il a analysé l'air des deux bocaux. Constamment, il a trouvé une quantité d'acide carbonique plus considérable dans le bocal où les grenouilles s'étaient contractées que dans le bocal où elles avaient été maintenues immobiles.

A l'état de repos et aussi pendant l'exercice modéré, ces combustions internes et le travail d'élimination de leurs produits sont réglés de telle manière que le muscle conserve sa composition normale et toutes ses propriétés physiologiques ; la réaction chimique du suc musculaire est, dans ces deux cas, constamment *neutre* ou *alcaline*.

Il n'en est plus de même quand le muscle est soumis à un travail excessif de contraction. Les combustions intérieures s'exagèrent, l'élimination n'est plus assez active pour entraîner tous les produits de décomposition; bientôt l'*acide lactique*

[1] *Letture sul l'elettro-physiologia*. Milano, 1867, page 36.

existe en trop grande quantité dans l'organe et en altère la composition; la réaction chimique du suc musculaire devient manifestement *acide*. Bien que le sang artériel continue à apporter des matériaux de nutrition et de l'oxygène, les combustions ne s'opèrent plus que difficilement et incomplétement dans le tissu musculaire engorgé par des produits de décomposition; la contractilité ne tarde pas à s'affaiblir, et la force musculaire éprouve une dépression connue sous le nom de *fatigue*.

Il résulte, en effet, des observations de Prout[1] que la proportion d'acide carbonique *augmente* dans l'air expiré quand l'animal se livre à un *exercice modéré*, tandis que, pendant la *fatigue* qui succède à un *exercice violent*, la proportion d'acide carbonique *diminue*.—Un repos, suffisamment prolongé pour permettre au travail d'élimination de débarrasser les tissus de cet excès de produits de décomposition, rend au suc musculaire sa réaction neutre ou alcaline, fait disparaître la *fatigue*, et restitue à la contractilité toute son énergie. — Les expériences tentées sur les animaux prouvent jusqu'à l'évidence que la *fatigue* musculaire n'est pas le résultat de l'*usure* de la fibre contractile qui aurait besoin d'être réparée par l'assimilation de nouveaux matériaux, mais qu'elle accuse une accumu-

[1] Hannoyer, *de Quantitate acidi carbonici, cet.* 1845, page 4.

lation anormale de produits qu'il suffit d'éliminer pour rendre aux combustions intérieures leur énergie primitive et aux muscles toute leur force. D'ailleurs, quand on tient compte de la faible durée du repos nécessaire pour dissiper toute *fatigue*, on demeure convaincu que, si dans un si court espace de temps l'élimination des produits de décomposition peut s'effectuer, il n'y a certainement pas place pour une réparation appréciable de la fibre musculaire. — Une analyse plus complète et plus approfondie des phénomènes accomplis dans la profondeur des tissus permet d'affirmer que l'*acidifaction* du suc musculaire est la véritable cause de la fatigue. Contentons-nous de rappeler, à l'appui de cette proposition, la belle et curieuse expérience par laquelle M. Ranke a montré que, pour produire tous les effets de la *fatigue*, il suffit d'injecter de l'*acide lactique* dans le tissu musculaire.

Quand l'animal est *au repos*, les combustions intérieures se règlent de manière à satisfaire aux besoins de la calorification; si l'on tient compte de la chaleur que le rayonnement, l'évaporation et le contact du milieu ambiant enlèvent à l'organisme, et d'autre part de la quantité d'oxygène consommé, il est facile de s'assurer que l'action chimique accomplie dans les capillaires généraux est *tout entière* utilisée pour produire de la *chaleur sensible*. En est-il de même quand le système musculaire

entre en contraction et *produit un travail extérieur?* Dans ce cas, la *chaleur sensible* développée continue-t-elle à représenter la *totalité* des combustions effectuées?

A l'état sauvage, les animaux sont toujours en mouvement, et, sauf des cas exceptionnels dont il serait facile de fournir l'explication, leur chair est très-pauvre en matières grasses. L'observation de tous les jours enseigne que, pour *engraisser* les animaux domestiques, il faut d'abord les *tenir au repos*, et que, pour leur *faire perdre leur embonpoint*, il suffit de les *remettre au travail*. Tous ces faits prouvent que, pendant le travail, l'animal consomme, détruit les matières grasses de son sang ou déposées dans ses tissus, et s'accordent avec les résultats des expériences directes pour montrer qu'un exercice, même très-modéré, s'accompagne invariablement d'une augmentation de l'activité de la fonction respiratoire. — D'après Lavoisier[1], un homme qui *au repos* consommait 24 litres d'oxygène par heure, en absorbait 63 lorsqu'il travaillait à soulever des fardeaux. — Nous devons à M. Lassaigne[2] une observation du même genre sur un cheval; *au repos*, cet animal expirait par heure 542 grammes d'acide carbonique; après *quinze minutes* de course, il en exhalait 746 gram-

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1789, page 575.
[2] *Journal de chimie*, 1849, tome V, page 13.

mes par les voies respiratoires. — M. Boussingault[1] a étudié l'influence de l'état de veille et de l'état de sommeil sur l'intensité des combustions respiratoires. Ses recherches établissent que la tourterelle *éveillée*, jouissant de toute son activité, brûle 255 milligrammes de carbone par heure, tandis que le même animal *endormi* n'en consomme que 162 milligrammes. — M. Scharling[2], de son côté, a constaté que les quantités de carbone brûlé par l'homme *endormi* et par l'homme *éveillé* sont dans le rapport de 1 à 1,237. — Les résultats de toutes ces recherches s'accordent donc avec ce que nous a déjà appris l'étude directe des modifications de l'état des muscles pour établir que les combustions intérieures sont d'autant plus actives que les efforts musculaires accomplis par l'animal sont eux-mêmes plus considérables.

Sans doute la température du muscle s'élève toujours pendant sa contraction; ce fait a été nettement établi par MM. Breschet et Becquerel[3], et surtout par M. Helmholtz. Sans doute encore, incontestablement, l'animal qui accomplit un travail, l'homme qui s'agite vivement, qui fatigue et sou-

[1] *Annales de chimie et de physique.* IIIe série, 1844. Tome XI, page 433.

[2] *Annales de chimie et de physique.* IIIe série, 1843. Tome VIII, page 488.

[3] *Annales de chimie et de physique.* IIe série, 1835. Tome LIX. page 134.

lève des fardeaux, se couvrent de sueur et s'échauffent. Mais, dans tous ces cas, l'excès de chaleur sensible développée est-il proportionnel à l'excès des combustions effectuées dans les profondeurs de l'économie? Des expériences déjà anciennes nous permettraient de répondre négativement à cette question. John Davy[1] a démontré en effet que, pendant le travail, la température des parties centrales s'élève à peine d'*un* degré ; un exercice même violent a pour principale et presque unique influence de régulariser la distribution de la chaleur dans les diverses parties de l'économie, en communiquant aux extrémités une température très-rapprochée de celle du tronc. En cas pareil, il est vrai, la sueur est très-abondante ; mais évidemment, malgré la déperdition de chaleur occasionnée par l'évaporation des liquides qui pleuvent à la surface de la peau, l'accroissement d'activité des combustions internes pendant le travail est hors de proportion avec les élévations de température constatées.

Lavoisier fait une remarque de même nature lorsque, à la suite de l'observation de cet homme chez lequel la consommation d'oxygène s'élevait, pendant le travail, de 24 à 63 litres, il ajoute : « La température du sang demeure assez constamment

[1] *Annales de chimie et de physique.* IIIe série, 1845. Tome XIII, page 185.

la même, du moins à quelques fractions de degré près. »

La contraction musculaire, en conservant la même énergie et en s'accompagnant de combustions internes de même intensité, peut s'effectuer dans trois conditions très-différentes. — Dans un premier cas, le muscle contracté soutient un poids donné à une hauteur déterminée; le muscle est tendu en contraction *statique*, mais il n'effectue *aucun travail*. — Dans un second cas, le même poids est soulevé à une hauteur déterminée et arrive sans vitesse à l'extrémité de sa course ascensionnelle; le muscle est en contraction *dynamique* et effectue un *travail positif* égal au produit du poids évalué en kilogrammes par la hauteur de course évaluée en mètres. — Enfin, dans un troisième cas, le poids descend de la même hauteur toujours soutenu par le muscle contracté, qui annule à chaque instant la vitesse communiquée par la pesanteur; le muscle est encore en contraction *dynamique*, mais il accomplit un *travail négatif* de même valeur que le *travail positif* du cas précédent, puisqu'il détruit la *force vive* qu'aurait acquise le poids en tombant librement de la même hauteur.

Dans une série d'expériences très-intéressantes et très-bien instituées, M. J. Béclard[1] a établi que,

[1] *De la Contraction musculaire dans ses rapports avec la température animale*. Paris, 1861.

constamment et dans quelque circonstance que la contraction s'effectue, la température du muscle s'élève. Mais l'élévation de température, pendant la contraction *statique*, est *plus forte* que pendant la contraction *dynamique* avec soulèvement de poids ou *travail positif*, et *plus faible* que pendant cette même contraction *dynamique* avec travail *négatif*. — L'exactitude de ces résultats est confirmée par une seconde série d'expériences dans laquelle M. Béclard a constaté que, si le muscle effectue alternativement un travail *positif* et un travail *négatif* de même valeur, c'est-à-dire si alternativement il soulève un poids et le soutient pendant qu'il descend de la même hauteur sous l'influence de la pesanteur, l'élévation de température est la même que pendant la contraction *statique*.

La signification de ces faits est claire et évidente. — Quand le muscle, en contraction *statique*, est tendu sans travail effectué, la réaction chimique intérieure est *tout entière* représentée par la chaleur *sensible* dégagée. — Pendant la contraction *dynamique* avec *soulèvement* de poids, l'élévation de température du muscle n'accuse pas *toute* la chaleur développée par les combustions intérieures; la portion de cette chaleur qui *disparaît* est transformée par *voie d'équivalence* en travail mécanique. — Enfin si, pendant qu'il soutient le poids dans sa chute, le muscle acquiert une température supé-

rieure à celle que peuvent lui communiquer les réactions chimiques intérieures, c'est qu'il fixe à son profit une quantité de chaleur *équivalente* à la *force vive détruite* du poids qu'il arrête dans sa course descendante. — M. Heidenhain a obtenu des résultats de même nature ; il a de plus montré que les variations de température sont, dans certaines limites, d'autant plus étendues que la contraction est plus énergique, c'est-à-dire que le poids employé dans ces expériences est plus considérable.

Les résultats de ces expériences sont en parfait accord avec une observation fort remarquable de M. le docteur Peter. — « Chez une petite fille atteinte de convulsions liées à la tuberculisation des méninges, il y avait alternativement *contracture* et *paralysie du mouvement* d'un même côté du corps. Quand le bras gauche était *convulsé*, la température y était de 1° à 4° *plus élevée* qu'au bras droit; quand la *contracture* cessait et que le bras gauche était *paralysé du mouvement*, la température y était au contraire de 0°,50 à 1°,50 *plus basse* qu'au bras droit. » — Plusieurs observateurs ont aussi signalé des élévations de température considérables dans les névroses avec *convulsions toniques*, et surtout dans le *tétanos*. Nous nous contenterons de signaler ici ces faits très-intéressants; l'interprétation complète des phénomènes constatés dans ces cas pathologiques nous paraît très-difficile dans l'état actuel de

nos connaissances; de nouvelles recherches sont nécessaires pour mettre nettement en lumière le rôle de la contraction musculaire au milieu des influences très-complexes qui peuvent modifier la température du corps de ces malades.

Nous devons à M. Hirn (de Colmar[1]) une très-belle série d'expériences dans lesquelles il a mesuré à la fois la quantité d'oxygène consommé, la chaleur sensible dégagée et le travail produit par un homme dans un temps donné. — Quand un homme monte un escalier ou une rampe, son système musculaire, en se contractant, accomplit un travail mécanique *positif* égal au produit du poids de son corps par la hauteur de l'ascension. Quand, au contraire, cet homme descend une rampe ou un escalier, la contraction musculaire est employée à chaque instant à contre-balancer la vitesse que lui communique la pesanteur, accomplit en réalité un travail *négatif* et finalement détruit, par résistances successives, la *force vive* que la pesanteur aurait communiquée à son corps s'il était tombé verticalement de toute la hauteur de la descente effectuée. — Après avoir mesuré la quantité de chaleur sensible que produit chaque gramme d'oxygène consommé

[1] *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Colmar.* 4e année, 1863. — *Essai élémentaire de la théorie mécanique de la chaleur et de ses conséquences philosophiques.* 2e lecture, pages 16 et suivantes.

par un homme au repos, M. Hirn a exécuté des déterminations de même genre sur le même homme tantôt pendant le travail d'ascension, tantôt pendant le travail de descente. — Pendant que l'homme monte, la quantité d'oxygène consommé augmente et les combustions sont plus actives; mais chaque gramme d'oxygène développe une *moins grande* quantité de chaleur sensible que pendant le repos; il disparaît donc une certaine quantité de chaleur qui se transforme réellement en travail mécanique. — La quantité d'oxygène consommé et l'activité des combustions internes augmentent aussi pendant la descente; mais les mesures calorimétriques indiquent que, dans ce cas, la chaleur sensible dégagée dans le corps de l'homme est *supérieure* à celle que peut produire l'oxygène consommé; la force vive détruite pendant la descente s'est donc transformée en chaleur et a contribué pour sa part à l'élévation de température observée.

Toutes ces expériences s'accordent pour montrer que, dans le système musculaire d'un animal qui effectue un *travail positif* (soulèvement de poids, traction d'un fardeau, etc.), tout se passe comme dans une machine à feu ordinaire. Pendant que le muscle *travaille*, la chaleur produite par les combustions internes se partage en deux parties complémentaires; l'une apparaît comme chaleur *sensible* et règle la température du muscle; l'autre *disparaît*

en tant que chaleur, et, par l'intermédiaire de la contraction musculaire, *se transforme en travail mécanique*. Le muscle est un *moteur animé* qui, comme la machine à vapeur, utilise la chaleur pour produire du travail : dans l'un et dans l'autre cas, il y a nécessairement *équivalence* entre la chaleur disparue, consommée, et le travail extérieur produit.

En réalité, dans quelques conditions qu'elle s'effectue, à une contraction musculaire d'intensité déterminée correspond une combustion interne et une production de chaleur d'intensité également déterminée ; c'est aussi une portion déterminée de cette chaleur produite qui disparaît comme agent thermique et est transformée en contractilité. — Si le muscle contracté exerce une *simple pression* ou une *pure traction*, sans *soulèvement de poids*, sans *travail extérieur*, toute cette chaleur momentanément transformée en contractilité reparaît à l'état de *chaleur sensible* quand le muscle se relâche. — Si, au contraire, le muscle *soulève un poids*, produit un *travail extérieur*, une quantité de chaleur *équivalente* à ce travail extérieur effectué est à jamais perdue comme *chaleur sensible*. — Que le muscle *opère une simple pression* ou *soulève un poids*, *la dépense* supportée par l'organisme est donc *la même;* il n'y a de différence que dans la manière dont cette dépense est utilisée. Dans le premier cas, la com-

bustion intérieure est *tout entière* représentée par de *la chaleur sensible;* dans le second cas, cette combustion a pour *équivalent* une certaine quantité de *chaleur sensible* et un *travail mécanique* effectué. — Mais dans l'un comme dans l'autre cas, la *manifestation extérieure purement calorifique* ou à la fois *calorifique et mécanique*, est l'*équivalent* du *travail intérieur de combustion.*

Au point de vue mécanique, la contractilité joue dans le muscle le même rôle que l'élasticité de la vapeur dans la locomobile; elles sont l'une et l'autre de vrais agents de transformation de la chaleur en travail. De là découle naturellement, fatalement, l'ordre de succession des phénomènes accomplis dans les masses musculaires. L'action productrice de la chose transformée étant nécessairement antérieure à l'intervention de l'agent de transformation, la combustion des matériaux organiques du sang précède nécessairement la mise en jeu de la contractilité. L'action chimique s'effectue la première et produit de la chaleur; puis la contractilité entre en jeu, et la fibre musculaire absorbe, consomme une portion de cette chaleur; enfin, suivant qu'il produit une *simple pression* ou un *soulèvement de poids*, le muscle rend au monde extérieur, sous forme de chaleur *sensible* ou de *travail mécanique*, toute la chaleur qu'au début il a empruntée au foyer de combustion pour entrer en action. Comme

l'élasticité de la vapeur, l'activité propre du muscle prend donc en réalité son origine dans une simple combustion, dans l'action de l'oxygène sur les matériaux du sang. La contractilité est nécessairement une activité du même ordre que l'affinité chimique d'où elle dérive et le dégagement de chaleur ou le travail mécanique auquel elle aboutit; ce qu'elle a de *spécial*, elle l'emprunte à la spécialité de nature, de texture et de composition de la fibre musculaire qui lui sert de support. La contractilité nous apparaît en définitive comme une modalité dynamique soumise aux mêmes lois que toutes les autres et rattachée, par le principe de la *transformation par voie d'équivalence*, aux grands agents du monde extérieur.

Lorsque l'animal est à l'état de repos, la chaleur produite par les combustions internes se partage en deux portions distinctes : l'une, la plus considérable, reste à l'état de chaleur sensible; l'autre est utilisée pour produire les contractions musculaires nécessaires à l'entretien de la circulation, de la respiration et au jeu de toutes les fonctions. — Pour se contracter, le cœur consomme une certaine quantité de chaleur; mais son travail est tout entier employé à communiquer au sang une *vitesse* qui est *détruite* par le frottement du liquide contre les parois des vaisseaux; cette chaleur est donc *rendue en entier* à l'économie. — Les mouvements al-

ternatifs et de sens contraires des parois thoraciques pendant la respiration s'accompagnent nécessairement du soulèvement et de l'abaissement alternatifs d'une masse d'air extérieur égale à la masse du gaz introduit dans la cavité pulmonaire pendant l'inspiration et expulsé pendant l'expiration; ici donc encore il n'y a pas en réalité de travail extérieur produit, et la chaleur *momentanément* consommée par la contraction des muscles respirateurs est en entier rendue à l'économie. — Tant que l'animal est au repos, le travail produit par les contractions musculaires indispensables à l'entretien des fonctions est *tout intérieur*, rien ne peut donc être perdu. Si une portion de la chaleur développée par les combustions respiratoires est consommée par ces contractions, *la transformation n'est que momentanée, et finalement toute l'énergie potentielle des éléments organiques brûlés se trouve utilisée comme chaleur sensible*[1]. — Il n'en est plus de même lorsque l'animal soulève un fardeau ou exécute tout autre travail mécanique; une quantité de chaleur *équivalente* au travail extérieur effectué est nécessairement et définitivement perdue pour l'économie.

[1] Cette chaleur sert à maintenir *constante* la température propre de l'animal; elle compense celle que l'économie perd à chaque instant par rayonnement, et celle que lui enlèvent le contact du milieu ambiant, l'air de l'expiration qui s'est échauffé dans la cavité thoracique, et l'évaporation de l'eau à la surface de la peau et de la muqueuse pulmonaire.

Dans les expériences de M. Hirn, les hommes se livraient à un exercice analogue à l'ascension d'une montagne; ils montaient sur une roue tournante dont les échelons fuyaient incessamment sous leurs pieds. De tous les sujets soumis à son observation, celui qui a donné les meilleurs résultats dynamiques a produit en une heure 33000 unités de travail. — Avant l'expérience, cet homme, au repos, consommait 30 grammes d'oxygène par heure, son pouls était à 80 pulsations par minute, le nombre de ses inspirations était de 18 par minute, le volume d'air inspiré et expiré en une heure était de 700 litres. — Après une heure d'ascension sur la roue, pendant laquelle cet homme avait produit 33000 unités de travail, le pouls était à 140 et les inspirations à 30 par minute. Pendant l'expérience, l'amplitude des mouvements des parois thoraciques était devenue double, car le volume d'air inspiré et expiré s'était élevé à 2300 litres par heure; enfin, pendant cette heure d'ascension, cet homme avait consommé 132 grammes d'oxygène. — Les recherches de physiologie les plus exactes nous autorisent à admettre que, chez l'homme, les *quatre cinquièmes* de la chaleur développée par les combustions internes est produite par la transformation du carbone en acide carbonique et *un cinquième* seulement par la combinaison de l'oxygène et de l'hydrogène; d'où résulte que chaque gramme d'oxygène consommé

développe dans l'économie 3,22 unités de chaleur[1]. A l'état de repos, l'homme observé par M. Hirn produisait donc par heure 97 unités de chaleur *tout entières* employées à maintenir sa température propre; nous savons, en effet, que les contractions musculaires nécessaires à l'entretien du jeu de la circulation, de la respiration et des autres fonctions rendent définitivement à l'économie toute la chaleur qu'elles ont momentanément empruntée aux combustions internes.

Pendant une heure d'ascension, les combustions intérieures ont fourni 425 unités de chaleur qui représentent 180625 unités de *force mécanique disponible*, et l'homme n'a produit en définitive que 33000 unités de *travail extérieur utile*. Le *rendement* du système musculaire de l'homme employé comme *moteur*, c'est-à-dire le rapport du *travail utile* à la *force disponible* est donc de *dix-huit centièmes*. Cette estimation du rendement du système musculaire s'accorde avec celle qu'en a donnée M. Helmholtz; les recherches de cet habile expérimentateur tendent, en effet, à établir que l'homme ne peut utiliser en travail extérieur qu'*un cinquième* de la chaleur développée dans le corps. Il est d'ail-

[1] Cette évalution est notablement inférieure à celle de M. Hirn. Cet habile observateur admet que chaque gramme d'oxygène consommé produit 5 unités de chaleur; ce nombre est évidemment trop fort; car en supposant qu'il se combinât tout entier avec l'hydrogène, 1 gramme d'oxygène ne développerait que 4,31 unités de chaleur.

leurs facile de comprendre pourquoi la totalité de la chaleur produite par les combustions internes ne peut jamais être transformée en travail externe utile. En effet, l'animal ne peut pas travailler sans que la circulation, la respiration, etc., deviennent plus actives, sans que le jeu des muscles et des articulations détermine des frottements; cette exagération des fonctions et ces frottements représentent un *travail intérieur* nécessaire à la mise en jeu de la contractilité musculaire, et qui retient dans l'économie une partie de la chaleur développée par les combustions respiratoires. Ce *travail intérieur* est inévitable, consomme une partie de la force disponible et joue, dans la machine animale, le même rôle que les frottements et les pertes de toute nature dans les machines ordinaires. Ajoutons encore que, chez un animal qui travaille, les diverses parties du corps éprouvent nécessairement des balancements, des déplacements relatifs qui consomment une certaine quantité de force perdue pour le travail *utile*.

En résumé, pendant une heure d'ascension, l'homme qui fait le sujet de cette observation a consommé 132 grammes d'oxygène et produit 425 unités de chaleur, dont 78, *utilisées*, *transformées*, ont fourni 33000 unités de *travail utile*. Si, des 347 unités de chaleur restant, nous retranchons les 97 qui étaient nécessaires pour maintenir la tem-

pérature propre et le jeu des fonctions de cet homme à l'*état de repos*, il reste encore 250 unités de chaleur *disponible*, dont une portion notable mais fort difficile à mesurer, consommée par les balancements de la tête, du tronc et des bras, est perdue pour le travail *utile*. Enfin, après toutes ces défalcations, il reste une certaine quantité de chaleur ou de force disponible qui a servi à faire face à l'augmentation d'activité de la circulation, de la respiration, etc., etc., et aux frottements musculaires et articulaires; transformée *momentanément* en *travail intérieur*, elle a été définitivement rendue à l'économie en *chaleur sensible* qui, d'une part, a servi à produire une élévation de la température du corps, et, d'autre part, a été emportée au dehors par le rayonnement, le contact de l'air avec la peau et la muqueuse des voies respiratoires, l'évaporation cutanée et pulmonaire considérablement augmentées pendant le travail d'ascension.

Les belles recherches de M. Hirn ont démontré que, malgré leur volume et leur poids si considérables, les machines à vapeur les plus perfectionnées n'utilisent que les *douze centièmes* de la *force disponible;* considéré comme *moteur*, le système musculaire de l'homme, dont le rendement est de *dix-huit centièmes*, a donc une très-grande supériorité sur les appareils les mieux construits qu'il ait été donné à l'industrie et à la science de réa-

liser. « Le corps des animaux, dit Helmholtz[1], diffère d'une machine à vapeur, non point par le procédé qui donne naissance à la chaleur et au travail, mais bien par la manière d'approprier cette force à son but spécial. » Ainsi se trouvent pleinement justifiées les remarquables paroles par lesquelles notre illustre maître, M. Dumas, terminait, le 20 août 1841, sa belle leçon sur *la statistique chimique des êtres organisés :*

« Nos ingénieurs ont donc encore beaucoup à faire, et pourtant ces nombres sont bien de nature à prouver qu'il y a communauté de principes entre la machine vivante et l'autre; car si l'on tient compte de toutes les pertes inévitables dans les machines à feu et si soigneusement évitées dans la machine humaine, l'identité de principe de leurs forces respectives est manifeste et évidente aux yeux. »

Il s'en faut de beaucoup que, chez tous les hommes et dans toutes les circonstances, les résultats dynamiques obtenus soient aussi satisfaisants que dans l'exemple que nous avons emprunté à M. Hirn. L'habitude, en effet, peut singulièrement améliorer le rendement de l'appareil moteur. Occupé d'un travail qu'un long exercice lui a rendu familier, l'homme sait ne contracter que les muscles dont

[1] *De la Conservation de la force.* Traduction de L. Perard. Paris, 1869, page 44.

le concours est nécessaire et dans la mesure indispensable à l'accomplissement de sa tâche; il réduit au *minimum* le travail intérieur nécessaire à la mise en jeu de la contractilité musculaire, évite toute perte de force inutile, produit alors beaucoup plus et avec beaucoup moins de fatigue, et utilise une plus grande proportion de la force disponible que lorsqu'il entreprend un labeur tout à fait nouveau. Contentons-nous de citer le *Goureur* de profession comme un des plus beaux exemples de l'influence de l'habitude sur le bon emploi de la force musculaire. « C'est un fait général, dit Helmholtz[1], que les mouvements compliqués qui exigent le concours d'un grand nombre de muscles, se font avec beaucoup moins d'efforts quand l'exercice nous a perfectionnés dans leur exécution. Qu'on se rappelle la violence des efforts auxquels se livrent un nageur ou un patineur inexpérimentés, et l'aisance que mettent dans ces exercices les personnes qui en ont une grande habitude. »

Si ces considérations mettent en lumière la supériorité du système musculaire de l'homme sur les machines les mieux combinées de l'industrie, l'observation démontre que les grands mammifères, considérés comme moteurs, sont aussi très-bien doués. — Un bon Cheval de course fait une lieue en

[1] *Optique physiologique*, page 616.

six ou sept minutes, mais bientôt son allure se ralentit; il serait dans l'impossibilité de fournir une longue carrière avec cette vitesse de 10 lieues à l'heure. — Le Cerf et l'Élan parcourent en un jour une distance de 40 lieues; attelé à un traîneau, le Renne fait 30 lieues par jour, et peut continuer ce travail plusieurs jours de suite. — Le Chameau marche longtemps et avec une grande vitesse : en huit jours il peut faire 300 lieues.

Mais, pour se faire une juste idée du haut degré de perfection que peut atteindre le moteur animé, il faut fixer son attention sur la rapidité des mouvements exécutés d'une manière continue par certains oiseaux et les insectes ailés, pendant des heures et même des journées entières.— En quatre ou cinq minutes, l'Aigle s'élève à 6 ou 7000 mètres et disparaît dans les airs : d'après Pictio de Lavalle, le Pigeon Messager de Perse fait en un jour plus de chemin qu'un homme de pied en six. — Les Hirondelles volent pendant des journées entières, décrivant mille et mille sinuosités dans les airs pour atteindre les petits insectes dont elles font leur nourriture; leur vol est si rapide et si soutenu que sept à huit jours leur suffisent pour se transporter de nos climats sous la ligne; Adanson en a vu arriver au Sénégal trois ou quatre jours après leur départ d'Europe. — Le Faucon de Henri II, s'étant

emporté après une canardière à Fontainebleau, fut pris le lendemain à Malte et reconnu à l'anneau qu'il portait; un Faucon des Canaries, envoyé au duc de Lerme, revint d'Andalousie à l'île de Ténériffe en seize heures, ce qui fait un trajet de 250 lieues exécuté avec une vitesse moyenne de 16 lieues à l'heure. — Hans Sloane assure qu'à la Barbade, les Mouettes vont se promener en troupes à plus de 60 lieues de distance en mer, et que le même jour elles regagnent leur point de départ. — Certains insectes, comme les Taons, peuvent suivre, pendant de longues heures, un cheval lancé au grand trot. Par une belle journée de mai ou de juin, l'Abeille vole d'une manière continue du matin au soir, pour aller cueillir dans les corolles des fleurs et rapporter à la ruche les matériaux nécessaires aux travaux et à la nourriture de la communauté.

Cette question de la force musculaire des animaux peut être étudiée d'un autre point de vue. — L'expérience démontre que l'homme, dont le poids moyen est de 65 kilogrammes, peut, en agissant avec ses deux mains, produire un effort de traction de 55 kilogrammes, et que moyennement il peut soulever un poids de 130 kilogrammes placé entre ses jambes; certains individus peuvent, dans ces circonstances, soulever jusqu'à 200 et même 300 kilogrammes. — Le cheval, dont le poids moyen est

de 600 kilogrammes, est capable moyennement de faire un effort de traction de 400 kilogrammes. — Ces nombres indiquent bien les efforts *maxima* dont l'homme et le cheval sont capables, mais ils ne nous disent pas quel travail ils peuvent produire d'une manière continue par un bon emploi de leurs forces musculaires. Voici ce que l'expérience a appris à ce sujet.

Les hommes manœuvrant une sonnette à tirande doivent soulever chacun, à *un mètre* de hauteur, 20 kilogrammes du poids total du mouton et frapper 20 coups par minute; ce qui représente une production de 400 unités de travail par minute. — Dans la manœuvre du cabestan, chaque homme doit exercer à l'extrémité du levier sur lequel il agit une pression de 12 kilogrammes et marcher avec une vitesse de 36 mètres par minute; la production est dans ce cas de 432 unités de travail par minute. — Enfin, un homme qui tourne une manivelle de 32 centimètres de rayon, doit exercer sur la poignée une pression de 8 kilogrammes, à raison de 25 tours par minute; dans ce dernier cas, le rendement est encore de 400 unités de travail par minute. — Le nombre des unités de travail que l'homme peut produire par minute d'une manière continue est donc égal à environ *six* fois le poids de son propre corps.

D'autre part, un bon cheval de roulier qui tra-

vaille *six* jours par semaine, peut exercer une force de traction de 50 kilogrammes et marcher avec une vitesse de 3 kilomètres par heure, ou 50 mètres par minute : il produit ainsi par minute un nombre d'unités de travail égal à 2500, c'est-à-dire seulement à *quatre* fois le poids de son corps. — Ces résultats fournis par l'expérience de tous les jours semblent annoncer que plus le poids propre de l'animal est faible, plus est grand le rapport du nombre d'unités de travail qu'il peut produire au poids de son corps.

Comparant les charges qu'elle transporte à la petitesse de son corps, Pline le naturaliste n'hésitait pas à déclarer que, proportion gardée, les forces musculaires de la Fourmi sont supérieures à celles de tout autre animal. Linnée a fait une remarque de même nature; il est difficile de ne pas partager les opinions de ces deux grands observateurs au sujet de la force musculaire des insectes, quand on réfléchit aux sauts prodigieux qu'exécutent la Puce, la Sauterelle, le Criquet, etc., ou aux efforts que doit faire la larve du *Sirex* pour percer de part en part avec ses mandibules les balles de plomb des cartouches. Les insectes des ordres des Hyménoptères et des Névroptères nous offrent des exemples bien remarquable de la force musculaire dont ces petits animaux sont doués. — Les Fourmis qui vivent sous terre creusent dans le sol une multitude de

galeries et de chambres disposées par étages, rejettent les déblais au dehors et en forment au-dessus de leur habitation un monticule, dans l'intérieur duquel elles construisent de nouvelles galeries semblables aux premières. D'autres Fourmis se construisent des demeures dans le tronc des arbres; elles attaquent le bois avec leurs mandibules et creusent dans l'intérieur de l'arbre plusieurs étages de chambres et de galeries superposés et séparés par des planchers. Certaines espèces construisent leurs fourmilières en plein air à l'aide de débris de végétaux qu'elles ramassent de toutes parts, qu'elles charrient dans le lieu choisi par la communauté et qu'elles savent disposer avec un art merveilleux. — Citons encore le Termite qui, tantôt creuse des galeries souterraines assez étendues pour constituer de véritables catacombes sous des villes entières; tantôt construit, pour abriter la communauté, des buttes d'argile de 5 à 6 mètres de hauteur. Dans l'Afrique centrale, où vivent principalement ces insectes de mœurs si singulières, on rencontre de ces buttes assez solides pour que les plus grands animaux sauvages puissent s'y établir sans les renverser.

Dans un travail très-intéressant, M. Félix Plateau a essayé de déterminer exactement l'énergie musculaire des insectes. — Dans une première série d'expériences, l'animal, placé sur une planche à surface rugueuse, était attelé à un fil engagé dans la

gorge d'une poulie et supportant un petit plateau lesté avec du sable. Pendant que l'insecte était en marche, on ajoutait des grains de sable dans le plateau jusqu'à ce que la charge fût suffisante pour arrêter l'animal sans l'entraîner. On déterminait ainsi le *maximum* d'effort de traction dont chaque individu était capable. — Les résultats obtenus par M. Plateau montrent que la *force relative*, mesurée par le rapport du *poids ainsi équilibré au poids du corps de l'animal*, est moyennement égale à 16 chez le Bourdon terrestre et à 20 chez l'Abeille, à 5 seulement chez le grand Orycte Nasicorne, à 14 chez le Hanneton, à 24 chez une espèce plus petite, le Hanneton du genre *Anomala*, à 30 chez un très-petit Staphylinien, le *Quedius Fulgidus*, à 41 chez la Trichie à bandes, petite espèce de Cétoine qui vit sur les roses et qui porte une livrée jaune à galons jaunes et noirs.

Chez les insectes fouisseurs, M. Plateau a mesuré le force de poussée en déterminant le poids nécessaire pour empêcher une plaque solide de céder aux efforts de ces animaux. La *force relative*, mesurée par le rapport du poids équilibré au poids du corps de l'animal, a été de 3,50 chez le grand Orycte Nasicorne, et de 85 chez un petit Bousier, l'*Ontophagus Nuchicornis*.

Enfin, M. Plateau a cherché à mesurer la force musculaire que l'insecte peut développer dans le

vol, en déterminant le poids le plus lourd que l'animal peut soutenir sans être entraîné vers la terre; dans ce cas-ci évidemment, le fardeau soutenu ou soulevé est égal à la somme du poids additionnel et du poids du corps de l'animal. Dans le vol, le travail musculaire s'exerce dans des conditions bien différentes de celles auxquelles l'animal était assujetti dans les deux cas précédents; le point d'appui n'est plus pris sur un plan solide et résistant; l'air dont la résistance est utilisée cède sans cesse sous les coups de l'aile qui le comprime. En raison de l'extrême mobilité des gaz, l'animal qui vole est placé dans des conditions plus défavorables encore qu'un marcheur sur un sol sablonneux, ou un nageur; toute la force motrice représentée par le déplacement du point d'appui est nécessairement perdue pour le travail utile. L'insecte, ainsi que l'oiseau, utilise le vol comme moyen de locomotion, mais jamais comme moyen de transport de fardeaux un peu considérables. Il ne faut donc pas s'étonner si, dans les expériences de M. Plateau sur le vol, le poids additionnel que l'insecte peut soulever n'a jamais dépassé le *double* et parfois a égalé à peine le *sixième* du poids du corps de l'animal.

Une loi très-curieuse ressort des tableaux comparatifs de M. Plateau : dans un même groupe d'insectes, la *force relative*, telle que nous l'avons déjà définie et par quelque procédé qu'on la mesure,

varie en sens inverse du poids du corps de l'animal en expérience. — Il ne faudrait pas en chercher l'explication dans le *volume relatif* des muscles, car M. Plateau s'est assuré par des mesures directes que ce volume est relativement plus faible chez les petites espèces et décroît plus rapidement que le poids total du corps. En rapprochant ces faits de ce que nous avons dit de la force de traction de l'homme et du cheval, nous sommes conduits à admettre que l'*énergie spécifique* du système musculaire est plus considérable chez les petits que chez les grands animaux[1]. Cette conclusion est assez importante pour attirer fortement l'attention des biologistes; il serait à désirer que de nouvelles recherches fussent entreprises dans cette direction.

Quelque perfectionné du reste que soit l'appareil musculaire des oiseaux et des insectes considéré comme moteur, il ne faut pas croire qu'il puisse jamais utiliser et transformer en travail mécanique *toute* la chaleur développée par les combustions internes. Sans doute la force est indestructible, mais cela ne prouve nullement qu'elle puisse toujours être utilisée par l'être vivant. Il est, en effet, établi dans la science que : « la chaleur qui se transmet

[1] Il est bon de faire remarquer à ce sujet que la force de traction d'un muscle, mesuré par le poids équilibré pendant sa contraction, dépend aussi de l'orientation des fibres contractiles par rapport à la ligne suivant laquelle s'exerce cette traction.

d'un corps chaud à un corps froid peut *seule*, *et en partie seulement*, être transformée en travail. » — Une machine à feu ne peut donc jamais utiliser qu'une partie de la chaleur qu'on lui fournit; la plus parfaite est celle qui transforme en travail la proportion la plus considérable de cette chaleur, dont une partie reste nécessairement à l'état de chaleur sensible et est perdue pour l'effet utile de la machine. — L'étude comparative de la température des insectes au repos et pendant le vol fournit un exemple bien remarquable de l'application de cette loi générale. Au repos, la température du *Sphinx Atropos* dépasse à peine d'*un* ou *deux* degrés celle de l'air. Après le coucher du soleil, ce petit animal prend son vol, et, pendant qu'il va de fleur en fleur pour chercher sa nourriture, sa température s'élève rapidement, d'après M. L. Dufour, à *dix* degrés au-dessus de celle du milieu ambiant. Évidemment, du moment où l'insecte voltige de droite et de gauche, l'activité des combustions intérieures s'exagère; son système musculaire ne consomme, n'utilise pour le *travail extérieur* qu'une portion de la chaleur rendue *disponible*, et l'élévation de température de son corps est due à la portion de la chaleur développée qui a échappé à la transformation.

Les relations de cause à effet qui rattachent les combustions respiratoires au travail musculaire rendent parfaitement compte des précautions indiquées par l'expérience pour tirer le meilleur parti possible de la force qu'un homme peut développer.

Nous avons vu (p. 148) que chacun des hommes occupés à manœuvrer une sonnette à tiraude peut soulever à un mètre de hauteur un poids de 20 kilogrammes et frapper 20 coups par minute; ce qui représente une production de 400 unités de travail mécanique par minute. Quelque modéré que ce travail paraisse au premier abord, il ne peut pourtant pas être soutenu d'une manière continue ; l'homme, sous peine de s'épuiser rapidement, doit, par intervalles, cesser de tirer à la corde et prendre du repos. L'expérience a démontré que, pour effectuer le plus de travail possible dans une journée, l'homme peut ainsi travailler pendant *trois* minutes, frapper *soixante* coups, produire sans s'arrêter 1200 unités de travail, puis il doit se reposer *trois* minutes avant de recommencer. Il est facile de déduire de la comparaison des activités respiratoires pendant le repos et le travail, la justification de cette règle consacrée par une longue expérience.

A l'état de repos, l'homme brûle les matériaux organiques de son sang, et nous avons vu précédemment comment, en définitive, la chaleur développée par cette combustion est employée *tout entière* à

maintenir sa température constante et résister aux causes extérieures de refroidissement. Nous avons démontré, en 1843, avec M. le professeur Andral, qu'à la température moyenne de Paris et dans l'espace *d'une heure*, un homme adulte et bien constitué brûle 12 grammes de carbone éliminés sous forme d'acide carbonique par les voies respiratoires. Or, 12 grammes de carbone, en se combinant avec l'oxygène, produisent à 38°, température du sang dans le poumon, 25 litres d'acide carbonique. A l'état de repos, les mouvements des parois thoraciques doivent donc être réglés de manière que l'homme puisse éliminer par le poumon 1^{lit},25 d'acide carbonique en *trois* minutes.

L'homme occupé à manœuvrer une sonnette à tiraude n'est plus dans les mêmes conditions; il produit, en *trois* minutes, 1200 unités de travail dont l'équivalent calorifique, 2,59 unités de chaleur, doit être fourni par la combustion des matériaux organiques de son sang. Mais les expériences de M. Hirn nous ont appris que l'homme, considéré comme moteur, ne peut utiliser, transformer en travail utile que les *dix-huit centièmes* de la chaleur développée par les combustions respiratoires. L'ouvrier manœuvrant la sonnette doit donc produire réellement en *trois* minutes 14,38 unités de chaleur. Mais les *huit dixièmes* de la chaleur développée par les combustions intérieures sont dus à la transformation du

carbone des matériaux du sang en acide carbonique ; le travail utile effectué par cet ouvrier nécessite donc la production dans les capillaires généraux de 3 litres d'acide carbonique en *trois minutes ;* et, pour que le jeu des fonctions reste régulier, ce volume d'acide carbonique, produit en *trois* minutes, doit être expulsé de l'économie dans le même temps. Les conséquences de la production d'une aussi grande quantité d'acide carbonique dans l'économie sont évidentes. Les mouvements respiratoire et circulatoire s'accélèrent considérablement : d'une part, pour rendre possible l'absorption de tout l'oxygène nécessaire à des combustions si actives ; d'autre part, pour débarrasser le sang d'une telle proportion d'acide carbonique dissous. Mais, quelque accélérée que soit la circulation, les produits de décomposition ne sont pas éliminés aussi vite qu'ils sont formés, s'accumulent dans le tissu musculaire, et bientôt rendent difficiles les combustions intérieures. Telle est la cause réelle de la fatigue qui ne tarde pas à rendre nécessaire un repos de quelques minutes, suffisant pour permettre aux muscles de se débarrasser de ces produits de décomposition et de reprendre leur énergie première.

Nous n'avons pas à faire ici une étude complète de l'influence des variations de la pression atmosphérique sur l'économie, mais il nous paraît utile de présenter quelques considérations de nature à mettre

en évidence une des principales causes des accidents qu'éprouve l'homme, lorsqu'il est transporté dans les régions supérieures de l'atmosphère.

Les nombreuses relations des ascensions aérostatiques s'accordent pour montrer que le voyageur, assis dans la nacelle, peut s'élever en un temps très-court à des hauteurs considérables sans éprouver de troubles sérieux. Dans le récit de sa célèbre ascension, Gay-Lussac[1] s'exprime ainsi : « A 7016 mètres d'altitude, quoique bien vêtu, je commençais à sentir le froid, surtout aux mains, que j'étais obligé de tenir exposées à l'air. Ma respiration était sensiblement gênée; mais j'étais encore bien loin d'éprouver un malaise assez désagréable pour m'engager à descendre. *Mon pouls et ma respiration étaient très-accélérés ;* aussi, respirant très-fréquemment dans un air très-sec, je ne dois pas être surpris d'avoir eu le gosier si sec qu'il m'était pénible d'avaler du pain. Avant de partir, j'avais un léger mal de tête provenant des fatigues du jour précédent et des veilles de la nuit, et je le gardai toute la journée sans m'apercevoir qu'il augmentât. *Ce sont là toutes les incommodités que j'ai éprouvées.* » Quelle est donc la condition réelle de l'aéronaute?

Emporté *passivement* par la force ascensionnelle du ballon, il n'effectue aucun travail, ne fait aucune

[1] *Annales de chimie et de physique.* Ire série, 1804, tome LII, page 75.

dépense de force mécanique. Dans ces circonstances, la *totalité* de la chaleur produite par la combustion des matériaux du sang est employée à maintenir sa température propre, et l'activité de cette combustion reste, dans les hautes régions de l'atmosphère, à très-peu près, ce qu'elle était à la surface du sol. Au plus haut de sa course, l'homme continue donc à brûler sensiblement 12 grammes de carbone et à produire 44 grammes d'acide carbonique par heure. A la surface du sol, sous la pression normale de 760 millimètres de mercure et à 38°, température du sang, ces 44 grammes d'acide carbonique représentent 25 litres de gaz qui doivent être éliminés en une heure par les voies respiratoires. Mais si nous supposons l'aréonaute à 4810 mètres d'altitude à la hauteur de la cime du mont Blanc, la pression barométrique n'est plus que de 435 millimètres de mercure, et ces 44 grammes d'acide carbonique représentent, sous cette faible pression et à la température de 38°, 44 litres de gaz qui doivent être éliminés en une heure. Ainsi, à cette altitude, l'air ambiant est plus rare, et l'acide carbonique produit dans l'économie représente un volume beaucoup plus considérable qu'à la surface du sol. On conçoit donc sans peine pourquoi, la quantité (en poids) d'oxygène consommé restant la même et le volume de l'acide carbonique produit étant presque doublé, la respiration et la circulation doivent s'accélérer notablement dans

cet air raréfié, d'une part, pour fournir l'oxygène nécessaire aux combustions intérieures et, d'autre part, pour éliminer les gaz dissous dans le sang. Mais comme, en définitive, en raison de l'état de repos de l'aéronaute, la quantité (en poids) des produits de décomposition reste sensiblement la même à quelque hauteur qu'il s'élève, on comprend facilement que l'accélération des mouvements respiratoire et circulatoire suffise pour entretenir la régularité du jeu des fonctions et mettre l'économie à l'abri de tout accident sérieux.

Nous ne voulons pas insister sur les perturbations très-variées et souvent très-considérables qu'éprouve l'économie pendant l'ascension sur les hautes montagnes ; M. Le Roy de Méricourt en a donné une description très-complète dans l'article *Altitudes* du *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales*. Nous devons seulement faire observer avec M. le docteur Le Pileur que les effets les plus pénibles ne se manifestent d'une manière tranchée pour la plupart des hommes qu'au-dessus de 4000 mètres. Cette observation de M. Le Pileur s'accorde parfaitement avec celles de tous les voyageurs qui, dans les diverses régions du globe, ont tenté des excursions sur les hautes montagnes. D'après A. de Humboldt, ces accidents, qui se manifestent dans les Andes, quand le baromètre se tient entre 379 et 428 millimètres, varient beaucoup en

intensité suivant les personnes. Pour fixer nettement les idées dans cette analyse des conditions au milieu desquelles s'opère une ascension, prenons un exemple particulier.

Nous trouvons dans la relation publiée par M. Le Pileur[1] de l'ascension qu'il fit sur le mont Blanc en compagnie de MM. Martins et Bravais, que ces voyageurs mirent *deux* heures pour franchir les 400 derniers mètres d'élévation qui les séparaient de la cime de la montagne. Dans cette dernière partie de l'ascension, ils marchaient sur des pentes très-escarpées, dont l'inclinaison était parfois de 42 degrés, et sous une pression atmosphérique moyenne de 450 millimètres de mercure. — Un ascensioniste du poids de 75 kilogrammes, produit, en s'élevant ainsi de 400 mètres, un travail utile de 30000 unités de travail dont l'équivalent calorifique est 70,59 unités de chaleur. Puisque le moteur animé n'utilise, ne transforme en travail mécanique extérieur que les *dix-huit centièmes* de la chaleur produite ; de toute nécessité, pendant les *deux heures* que dure le parcours de ces 400 mètres, les combustions intérieures doivent développer 392,16 unités de chaleur, ce qui exige la combustion de 38,83 grammes de carbone et la production de 142,37 grammes d'acide carbonique. Or, à la température de 38° et

[1] *Revue médicale*. 1845, tome XCVI, pages 54, 196, 341.

sous la pression de 450 millimètres de mercure, ces 142,57 grammes d'acide carbonique représentent 138 litres de gaz, dissous dans le sang, produit en deux heures et qui doit être éliminé dans le même temps par les voies respiratoires. Ainsi donc :

L'homme, au repos et au niveau de la mer, produit et élimine par heure 44 grammes d'acide carbonique représentant 25 litres de gaz. Le jeu normal de la respiration et de la circulation suffit à l'entretien indéfini de la combustion et de l'élimination à ce degré d'activité.

L'homme, au repos dans la nacelle d'un aérostat à 4800 mètres d'altitude, produit et élimine par heure 44 grammes d'acide carbonique, représentant, en nombres ronds, 44 litres de gaz. Il suffit que la respiration et la circulation s'accélèrent pour que, sans trouble notable de l'économie, les fonctions comburantes et éliminatrices soient maintenues à ce degré d'activité.

Mais, pendant qu'il franchit les 400 mètres qui le séparent de la cime du mont Blanc, le touriste produit forcément, par heure, 71 grammes d'acide carbonique et exhale 69 litres de gaz.

Dans notre calcul, nous avons procédé comme si, pendant l'ascension, le touriste marchait sur un plan parfaitement résistant. Il n'en est certainement pas ainsi sur ces pentes escarpées où le sol se dérobe à

chaque instant sous ses pas, sur ces vastes champs de glace où le pied est mal assuré, sur ces plages couvertes d'épaisses couches de neige qui cèdent sous son poids ; pour s'élever sur les flancs des montagnes, l'homme dépense une quantité de force mécanique qui dépasse de *beaucoup* le produit de son propre poids par la hauteur verticale d'ascension ; par conséquent, il consomme les matériaux organiques de son sang et produit de l'acide carbonique dans des proportions *très supérieures* à celles que nous avons déduites de nos calculs.

C'est donc seulement à la condition d'exagérer dans une proportion très-considérable la rapidité des mouvements respiratoires et circulatoires, que l'homme peut absorber, dans cet air raréfié, la quantité d'oxygène nécessaire à des combustions si intenses et éliminer par le poumon un tel volume de gaz. Mais, quoi qu'il fasse, il ne parvient pas à maintenir la composition normale du sang, qui se sursature d'acide carbonique ; alors la respiration devient anxieuse ; la dyspnée devient extrême et s'accompagne de céphalalgie, de vertiges et de somnolence. De plus, les produits de décomposition incomplétement éliminés s'accumulent dans le système musculaire et la *fatigue* devient rapidement excessive ; ainsi s'explique le besoin invincible de repos qui arrête le voyageur au bout de *cent*, *soixante*, *quarante*, et même *trente* pas sur ces pentes abruptes et glissantes.

Mais, du moment où le touriste s'arrête, la dépense de force mécanique cesse, l'activité des combustions respiratoires s'abaisse rapidement au degré nécessaire au maintien de sa température propre, le sang se débarrasse rapidement de l'excès d'acide carbonique, la circulation activée entraîne très-vite les produits de décomposition dont le système musculaire était engorgé, tous les troubles fonctionnels se calment, le sentiment de fatigue disparaît, les muscles recouvrent toute leur énergie, et l'homme qui s'était arrêté *en apparence exténué de fatigue*, peut, après quelques minutes de repos, reprendre sa marche ascensionelle. Il est évident d'ailleurs que tous ces accidents si souvent signalés par les voyageurs varient d'intensité suivant l'altitude, la nature et l'escarpement du terrain et surtout suivant la rapidité de la marche. On a parlé aussi de l'influence de l'habitude chez les hommes qui passent leur vie sur les flancs et sur les hauts sommets des montagnes. Si, chez le touriste novice, les accidents sont plus prononcés que chez le guide expérimenté, c'est que ce dernier a appris à éviter tout mouvement inutile, à faire le moins d'efforts musculaires possibles pour gravir les pentes escarpées et affermir son pas sur les sentiers glissants.

Comme conséquence de ces considérations, nous nous croyons autorisé à dire que la majeure partie des troubles fonctionnels caractéristiques du *mal*

des montagnes doit être rapportée à une véritable intoxication par l'acide carbonique dissous en trop forte proportion dans le sang et à une accumulation momentanée de produits de décomposition dans le système musculaire. — Pour dire ici toute notre pensée, nous ajouterons qu'une intoxication de même nature, résultat nécessaire d'une dépense excessive de forces musculaires, est une des principales causes des accidents observés chez les *animaux surmenés* ou soumis à un travail trop considérable et trop longtemps soutenu.

Les matières alimentaires préparées par le travail de la digestion et versées dans le torrent circulatoire sont de deux ordres : les unes, comme les sucres et les graisses, sont uniquement composées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène ; les autres, connues sous la dénomination de matières *albuminoïdes*, sont plus complexes, contiennent les trois éléments précédents, auxquels s'ajoute un quatrième principe, l'azote, et forment la base de tous les tissus de l'économie. Toutes sont attaquées par l'oxygène dans les capillaires généraux ; les premières, les matières *ternaires* ou *non azotées*, sont complétement brûlées et ramenées à l'état d'acide carbonique et d'eau ; les secondes, les matières *quaternaires* ou *albuminoïdes*, n'éprouvent qu'une combustion incomplète, fournissent aussi de l'acide carbonique et de l'eau, et, de plus un résidu,

éliminé par les divers émonctoires, dans lequel se retrouve tout l'azote qui entre dans leur composition. —La chimie est assez avancée aujourd'hui pour que, de la connaissance de la quantité de matière azotée expulsée par les diverses sécrétions, on puisse déduire avec certitude la quantité (en poids) de substance albuminoïde incomplétement brûlée dans le torrent circulatoire. Il est donc toujours possible de déterminer pour quelle part les albuminoïdes entrent dans le travail chimique accompli dans la profondeur des tissus. On comprend facilement dès lors comment on a pu s'assurer que la quantité de matière azotée brûlée varie avec la nature du régime adopté et augmente à mesure que les aliments consommés sont eux-mêmes plus riches en substances albuminoïdes.

Quelque perfectionnée que soit son organisation, quelque élevée que soit sa place dans l'échelle des êtres, l'animal trouve, dans la chaleur produite par ces combustions internes, un véritable réservoir de force *disponible* qui lui fournit à la fois toute la chaleur *sensible* nécessaire pour lutter contre les causes extérieures de refroidissement et, par voie de transformation, toute la puissance mécanique développée par son système musculaire. Entraînés par la haute et puissante autorité de M. Liebig, beaucoup de physiologistes ont professé, jusqu'à ces derniers temps, que la force utilisée comme chaleur *sensible* et la

puissance mécanique des muscles n'ont pas la même origine. Pour eux, la combustion des matières grasses et sucrées du sang fournirait *exclusivement* la chaleur destinée à entretenir la température de l'animal, tandis que l'action de l'oxygène sur la fibre musculaire pourrait *seule* développer la chaleur *transformable* en travail mécanique. Cette théorie de l'origine de la puissance musculaire, si elle était vraie, nous ferait assister au spectacle singulier d'un moteur animé, d'un muscle, qui puiserait le principe de sa puissance dans la destruction graduelle et incessante de sa propre substance.

La doctrine de M. Liebig ne fut pas admise sans contestation ; elle fut combattue dès son origine par de sérieux adversaires. J. R. Mayer fit d'abord observer que l'agent de toute combustion, l'oxygène emprunté à l'atmosphère, est mêlé au sang dans les vaisseaux et ne peut que très-difficilement atteindre la fibre musculaire ; il montra en outre que la combustion de toute la masse musculaire d'un homme fournirait à peine la quantité de chaleur consommée par la puissance musculaire développée en *quatre-vingts jours* de travail. Solidement appuyé sur ces considérations physiologiques, il résuma ainsi qu'il suit ses idées sur l'origine de la puissance musculaire :

« Le foyer dans lequel la combustion se produit est l'intérieur des vaisseaux sanguins ; le *sang*, un

liquide brûlant lentement, est l'huile de la flamme de la vie... De même qu'une feuille d'arbre transforme un effet mécanique donné, la *lumière*, en une autre force, la *différence chimique;* de même aussi le *muscle produit un travail mécanique aux dépens de la différence chimique consommée dans les capillaires.* La chaleur ne peut pas plus remplacer les rayons du soleil pour la plante que l'opération chimique pour l'animal; tout mouvement chez un animal est accompagné d'absorption d'oxygène et de production d'acide carbonique et d'eau; *tout muscle auprès duquel l'oxygène atmosphérique ne pénètre pas cesse d'accomplir ses fonctions...* Un muscle est seulement un appareil au moyen duquel la transformation des forces s'effectue, *mais ce n'est pas la substance par le changement chimique de laquelle* l'effet mécanique se produit. »

Cette doctrine de Mayer est en accord complet avec ce que nous avons déjà dit de la *fatigue* musculaire, qui n'est pas le résultat de l'*usure* de la fibre contractile, mais d'une simple accumulation de matériaux de décomposition dans le tissu du muscle; son exactitude est pleinement démontrée par une expérience très-remarquable faite en Suisse, dans les derniers jours du mois d'août 1865, par MM. Fick et Wislicenus [1].

[1] *Philosophical Magazine*, tome XXXI page 485.

Partis des bords du lac de Brientz dans la journée du 30 août, ces deux habiles physiologistes sont montés à pied sur le sommet du Faulhorn, en suivant un sentier très-rapide commençant à Iseltwald ; l'ascension dura cinq heures et demie. Y compris ses vêtements et son bâton de voyage, M. Fick pesait 66 kilogrammes, et M. Wislicenus 76 kilogrammes. La hauteur du sommet du Faulhorn au-dessus du lac de Brientz est de 1956 mètres. En multipliant la hauteur d'ascension par le poids de chacun des observateurs, nous trouvons que le *travail extérieur utile* accompli est égal à 129096 unités pour M. Fick et à 148656 unités pour M. Wislicenus. Ces nombres ne représentent que le travail de déplacement du centre de gravité des corps des deux observateurs suivant la verticale, mais ils sont loin d'exprimer la *totalité du travail mécanique* effectué par leur système musculaire pendant l'ascension. — Dans cette évaluation, on néglige, en effet, d'une part, le déplacement horizontal du centre de gravité égal à la distance du pied de la montagne à la projection de son sommet sur le plan de niveau du lac de Brientz, d'autre part, les mouvements incessants de balancement de la tête, du tronc et des bras, enfin les contractions statiques des muscles nécessaires pour maintenir les diverses parties du corps dans leurs positions relatives. — Les sentiers de montagnes, même les plus escarpés, présentent des surfaces de

niveau et aussi quelques descentes; pour traverser ces espaces, les muscles des jambes accomplissent un travail mécanique dont il n'est pas tenu compte dans le calcul précédent et dont une portion se transforme définitivement en chaleur sensible.

Si l'on voulait évaluer la totalité du travail accompli par le système musculaire, il faudrait en outre mesurer la force mécanique dépensée par le cœur, le diaphragme et les muscles des parois thoraciques pour entretenir la circulation et la respiration pendant les cinq heures et demie d'ascension. M. Fick faisait 25 inspirations par minute, et son pouls était à 120 pulsations par minute; M. Wislicenus ne paraît pas avoir observé l'état de sa circulation et de sa respiration, mais il est évident que ces deux fonctions s'accomplissaient chez lui dans des conditions d'accélération peu différentes de celles de son compagnon de voyage. Malheureusement, les données expérimentales manquent[1] pour apprécier avec quelque exactitude la force mécanique dépensée par le cœur et les muscles respiratoires dans ces condi-

[1] M. Fick évalue à 0,64 unités le travail accompli par le cœur pendant une systole ordinaire; d'après les observations de Donders, le travail correspondant à une inspiration ordinaire serait de 0,63 unités. En partant de ces données, l'entretien de la circulation et de la respiration pendant l'ascension aurait exigé une dépense de force musculaire équivalant à 30541 unités de travail. Mais il est évident que des systoles aussi énergiques et des inspirations aussi profondes ont exigé de la part du cœur et des muscles respiratoires une dépense de force beaucoup plus considérable.

tions d'accélération de la circulation et de la respiration. Cette force est tout entière perdue pour le travail extérieur ; utilisée pour assurer le jeu de ces deux fonctions, consommée par un travail intérieur, elle est transformée finalement en chaleur *sensible* qui contribue à élever la température du corps.

En présence de ces considérations, il est permis d'affirmer que les 129096 unités et les 148656 unités qui expriment le *travail utile* d'ascension verticale accompli par M. Fick et M. Wislicenus, ne représentent pas plus de la *moitié* de la force mécanique dépensée par les systèmes musculaires de ces observateurs pendant leur excursion sur le Faulhorn.

La veille de l'ascension (29 août) à midi, MM. Fick et Wislicenus adoptèrent un régime alimentaire exempt de toute matière azotée et le continuèrent jusqu'au 30 dans la soirée. Pendant ces trente-six heures, ils se nourrirent exclusivement de gâteaux d'amidon frits dans de la graisse, de sucre dissous dans du thé, de bière et de vin. Grâce à cette précaution, la digestion ne fournissant plus de substance azotée au sang, il est permis d'admettre que toute l'urée expulsée par les urines pendant la journée du 30 était fournie par la combustion des éléments des organes. Mais tous les produits de cette combustion effectuée pendant l'ascension n'avaient pas pu être éliminés par les urines au moment où les deux observateurs arrivèrent sur le sommet du

Faulhorn ; une partie de ces produits était évidemment retenue dans l'économie et n'a été expulsée que plus tard. MM. Fick et Wislicenus ont admis que la combustion des tissus effectuée pendant l'ascension a produit l'urée expulsée par les urines pendant les cinq heures et demie de marche et pendant les six heures de repos qui ont suivi leur arrivée sur le sommet de la montagne. En procédant ainsi, ils ont certainement exagéré la quantité de matière azotée brûlée pendant qu'ils gravissaient les pentes escarpées du Faulhorn. De l'analyse des quantités d'urine recueillies, ils ont conclu que, pendant les cinq heures et demie d'ascension :

M. Fick a brûlé $37^{gr},17$ de matière azotée desséchée ;

M. Wislicenus a brûlé 37 grammes de matière azotée desséchée.

Dans un travail très-important sur la chaleur de combustion des matières organiques, M. Frankland a démontré qu'*un kilogramme* de substance musculaire, desséchée, purifiée par l'éther, et ramenée par combustion à l'état d'*urée*, fournit 4368 unités de chaleur. Il résulte de cette donnée que, pendant leur excursion sur le Faulhorn :

M. Fick a brûlé $37^{gr},17$ de matière azotée sèche qui, ramenés à l'état d'urée, ont fourni, 162,36 unités de chaleur dont l'équivalent mécanique est 69003 unités de travail *disponibles*, et que dans le

même temps il a produit 129096 unités de travail *utile;*

M. Wislicenus a brûlé 37 grammes de matière azotée sèche, qui, ramenés à l'état d'urée, ont fourni 161,62 unités de chaleur, dont l'équivalent mécanique est 68689 unités de travail *disponibles*, et que dans le même temps il a produit 148565 unités de travail *utile.*

Admettons, pour un instant, que toute la substance azotée ait été fournie par les muscles contractés, et que toute la chaleur développée par cette combustion ait été transformée en travail ; le rapprochement des nombres précédents nous montre que, même dans ce cas, la combustion des masses musculaires ne représente que les *cinquante-trois centièmes* du travail mécanique produit par M. Fick et les *quarante-six centièmes* du travail mécanique produit par M. Wislicenus pendant leur ascension sur le Faulhorn.

Mais, ne l'oublions pas, en ajoutant, aux urines rendues pendant l'ascension, le produit de la sécrétion urinaire recueilli pendant les six heures de repos qui ont suivi leur arrivée sur le sommet de la montagne, MM. Fick et Wislicenus ont certainement coté trop haut la quantité de matière azotée brûlée pendant que leurs muscles étaient en activité. D'autre part, dans l'évaluation du travail musculaire accompli pendant l'ascension, nous n'avons tenu compte

que du déplacement vertical du centre de gravité des deux observateurs ; nous avons complétement laissé de côté le déplacement horizontal du centre de gravité, et toutes les contractions musculaires effectuées pour faire face aux balancements du tronc et des membres supérieurs, tout le travail du cœur et des muscles des parois thoraciques nécessaires à l'entretien de la circulation et de la respiration. Nous nous sommes donc placé dans les conditions les plus favorables à la théorie défendue par M. Liebig, et, malgré toutes ces concessions, les résultats de la remarquable expérience de MM. Fick et Wislicenus nous conduisent irrésistiblement à cette conclusion :

La combustion des matières albuminoïdes n'a pu fournir moyennement qu'environ la *moitié* de la force mécanique nécessaire pour effectuer le *travail extérieur utile* produit par ces deux physiologistes pendant leur excursion sur le Faulhorn.

A côté de ces faits importants nous devons citer les intéressantes observations du docteur M. C. Verloren sur la nourriture des insectes. Il a remarqué qu'à l'époque où ils accomplissent peu de travail musculaire, beaucoup d'insectes se nourrissent principalement de matières albuminoïdes, et qu'au contraire leur alimentation se compose presque exclusivement de matières ternaires non azotées à l'époque où leur système musculaire travaille le plus activement. Il cite aussi les abeilles et les

papillons comme exemples d'insectes se nourrissant de substances très-pauvres en azote et accomplissant des travaux musculaires très-considérables.

Les résultats de cette longue discussion nous autorisent donc à considérer comme inadmissible et purement hypothétique, la théorie de l'origine de la force musculaire présentée par M. Liebig. Le pouvoir musculaire ne provient pas exclusivement de la transformation de la chaleur développée par la combustion des aliments albuminoïdes préalablement assimilés *et convertis en fibres contractiles*. Il reste même démontré que la chaleur produite par la combustion des matériaux azotés de sang est loin de représenter la totalité de la force mécanique développée par le système musculaire.

Mais il ne faudrait pas tomber dans une exagération inverse et croire que les substances ternaires non azotées sont seules respiratoires, peuvent seules fournir la chaleur transformable en travail musculaire. L'acide carbonique exhalé par les voies pulmonaires provient sans doute, en majeure partie, de l'oxydation des matériaux ternaires du sang, mais une certaine proportion de ce gaz est certainemen fournie par les matériaux albuminoïdes de l'économie dont la combustion incomplète est attestée par les produits azotés des excrétions et des sécrétions.

L'expérience a d'ailleurs démontré depuis longtemps que les proportions de matières ternaires et

quaternaires brûlées dans l'économie dépendent de la nature du régime alimentaire adopté; les conditions d'exercice et de travail restant les mêmes, il suffit d'augmenter la proportion des matières albuminoïdes consommées comme aliments, pour rendre les excrétions et les sécrétions plus riches en produits azotés. D'autre part, lorsque, le régime alimentaire restant le même, la consommation d'oxygène s'exagère sous l'influence d'une plus grande activité musculaire, l'excès de combustion porte presque exclusivement sur les matières ternaires; on doit reconnaître pourtant que, dans ce cas, l'oxydation des matériaux albuminoïdes augmente dans une proportion faible, mais appréciable.

La chaleur transformée en force mécanique, par l'intermédiaire de la contraction musculaire, est donc produite à la fois par l'oxydation des matériaux ternaires et par la combustion incomplète des matériaux quaternaires de l'économie; sans doute la majeure partie de cette chaleur transformée est, dans tous les cas, fournie par l'usure des matières ternaires, mais la part qui revient aux substances albuminoïdes varie avec la nature du régime alimentaire adopté. L'expérience de tous les jours le démontre d'une manière incontestable : quelles que soient leur nature et leur composition, les matières alimentaires organiques sont toutes combustibles; il suffit que, préparées par la digestion, elles soient

mêlées au sang pour qu'elles soient ultérieurement attaquées par l'oxygène emprunté au milieu ambiant par les surfaces respiratoires. En réalité, les aliments albuminoïdes remplissent un double rôle dans l'économie ; une fois introduits dans le torrent circulatoire, ils se partagent en deux portions : l'une est assimilée et sert au renouvellement des tissus, l'autre est brûlée en même temps que les matières grasses et sucrées du sang. Ces combustions internes incessantes sont, pour l'animal, la source de force *disponible* qui lui fournit à la fois la chaleur *sensible* nécessaire au maintien de sa température propre, et la chaleur *transformée en puissance musculaire*.

Dans ces dernières années, la question de la combustion des matières albuminoïdes a été étudiée avec beaucoup de soin. Des observateurs d'un très-grand mérite ont constaté que chez les animaux *surmenés*, l'urine ne contient pas une plus forte proportion d'urée ; ils en ont conclu que l'exercice musculaire n'exerce *aucune influence* sur l'oxydation des substances quaternaires de l'économie. Une semblable interprétation des faits observés nous paraît prématurée, sinon complétement inadmissible. On a pris pour signe unique de l'oxydation des matières quaternaires, la présence de l'urée dans le produit de la sécrétion rénale. Les expériences de M. V. Regnault nous ont appris que, même chez les animaux à l'état de repos, il y a exhalation d'une faible proportion

d'azote provenant de la *combustion complète* d'une certaine quantité de matière albuminoïde. N'est-il pas probable que, dans le cas d'un exercice musculaire exagéré, la proportion des matières quaternaires complétement brûlées et ramenées à l'état d'acide carbonique, d'eau et d'azote, est augmentée? On comprend alors comment, chez les animaux surmenés, la quantité absolue d'urée excrétée pourrait ne pas augmenter et même *diminuer*, bien que, chez eux, la consommation des matières quaternaires fût plus considérable. Cette question doit donc être soumise à de nouvelles études; et, pour la résoudre complétement, il devient nécessaire de tenir compte à la fois des produits de combustion incomplète fournis par les excrétions et de l'azote exhalé à l'état gazeux par les voies respiratoires.

Bien que la chaleur transformée dans l'économie en puissance mécanique soit presque exclusivement fournie par l'action de l'oxygène sur les matériaux ternaires, nou croyons devoir reproduire ici quelques-uns des principaux résultats des recherches de M. Frankland[1] sur les quantités de chaleur et de force mécanique développées par la combustion des substances alimentaires azotées et non azotées. Les données contenues dans ce tableau sont d'une haute importance au point de vue de l'hygiène et de la physiologie générale.

[1] *Revue des cours scientifiques*, 4e année, 1866-1867, page 81.

ÉNERGIE EFFECTIVE DÉVELOPPÉE (EN CHALEUR ET EN FORCE MÉCANIQUE) PAR UN KILOGRAMME DE DIFFÉRENTES MATIÈRES ALIMENTAIRES BRULÉES DANS L'OXYGÈNE.

NOMS DES ALIMENTS	UNITÉS DE CHALEUR		KILOGRAMMÈTRES UNITÉS DE FORCE		EAU POUR 100
	État naturel	Sec	État naturel	Sec	
Pommes de terre	1013	3752	430525	1594600	73,0
Gruau d'avoine .	4004		1701700		
Farine..	3941		1674925		
Farine de pois. .	3936		1672800		
Farine de riz.. .	3813		1620525		
Arow-root. . . .	3912		1662600		
Carotte.	537	3967	228225	1685975	86,0
Choux.	434	3776	184450	1604800	88,5
Sucre blanc. . .	3348		1422900		
Cacao..	6873		2921025		
Beurre.	7264		3087200		
Huile de foie de morue.. . . .	9107		3870475		
Gras de bœuf. .	9069		3854325		
Pain (mie). . . .	2231	3984	948175	1693200	44,0
Pain (croûte).. .	4459		1895075		
Bœuf (maigre) . .	1567	5313	665975	2258025	70,5
Veau (maigre). .	1314	4514	558450	1918450	70,9
Jambon (maigre).	1980	4343	841500	1845775	54,4
Maquereau . . .	1789	6064	760325	2577200	70,5
Merlan.	904	4520	384200	1921000	80,0
Blanc d'œuf. . .	671	4896	285175	2070800	86,3
Œufs durs.. . .	2383	6321	1012775	2686425	62,3
Jaune d'œuf. . .	3423	6460	1454775	2745500	47,0
Lait..	662	5093	281550	2164525	87,0

Il résulte évidemment de ce tableau qu'à poids égal et à l'*état naturel*, les matières alimentaires grasses fournissent à l'économie plus de chaleur et

de force disponible que les matières sucrées ou amylacées, et ces dernières plus que les viandes de bœuf, de veau, de porc et de poisson.

Séduits par les théories de M. Liebig, généralement convaincus que la puissance musculaire provient *tout entière* de la chaleur développée par la combustion des matières albuminoïdes préalablement assimilées et converties en fibres contractiles, les hygiénistes ont fait effort pour modifier profondément le régime alimentaire des populations ouvrières ; il fallait à tout prix fournir à l'économie les éléments nécessaires à la réparation des pertes incessantes occasionnées par la contraction musculaire, chercher à accroître ou du moins à maintenir la quantité de force *disponible* de chaque ouvrier. Les conséquences de la théorie de M. Liebig étaient évidentes, le seul moyen d'atteindre ce but était de faire prédominer de plus en plus les matières azotées, les *viandes*, dans le régime alimentaire. Dans les pays où, comme en France, les populations ouvrières se nourrissent trop exclusivement d'aliments empruntés au règne végétal, cette tendance contenue dans de justes limites a produit d'excellents résultats.

Dans un établissement industriel du département du Tarn, M. Talabot a amélioré l'état sanitaire des travailleurs en introduisant la viande de boucherie dans leur régime alimentaire. Sous l'influence d'une

nourriture à peu près exclusivement végétale, chaque ouvrier perdait moyennement *quinze journées de travail par an*, pour cause de fatigue ou de maladie; du moment où l'usage de la viande fut adopté, la perte moyenne, par tête et par an, ne fut plus que de *trois journées de travail*.

En 1841, sur les chantiers du chemin de fer de Paris à Rouen, les travailleurs anglais eurent d'abord une supériorité très-prononcée sur les Français. Pour rétablir l'équilibre et donner à nos nationaux la même puissance de travail qu'à leurs camarades d'outre-Manche, il suffit de remplacer, par des viandes rôties et grillées, le bouilli, les soupes et les légumes dont se nourrissaient presque exclusivement les ouvriers français.

En 1825, les ouvriers français se trouvèrent d'abord dans l'impossibilité de déployer toute la force nécessaire au fonctionnement régulier d'une usine à fer d'après la méthode anglaise établie aux environs de Charenton; les directeurs de l'établissement firent entrer la viande pour une proportion plus considérable dans le régime alimentaire; cette réforme suffit pour rendre les travailleurs plus vigoureux et leur permettre de supporter sans fatigue les opérations les plus pénibles.

Nous empruntons encore le fait suivant au *Cours d'hygiène* de M. Fleury[1] : Le nègre de la Louisiane

[1] *Cours d'hygiène*. Tome II, pages 123-125.

et de l'État de Géorgie fait quatre repas par jour, dont deux avec de la viande. Ce régime fortifiant développe une telle puissance de travail, que les Antilles, où l'ouvrier noir est fort mal nourri, ne peuvent plus soutenir la concurrence de leurs voisins de l'Amérique du Nord, pour tous les produits qui exigent beaucoup de main-d'œuvre, comme le coton.

Ce n'est pas seulement de nos jours que les inconvénients de la privation de la viande ont été signalés. Les fâcheux résultats d'une alimentation exclusivement végétale sont très-nettement indiqués dans cette phrase de Haller[1] qui, pour raison de santé, avait cru devoir se condamner à ce régime : « *Sæpe tentavi... semper sensi debilitatum totum corpus, ad labores, ad Venerem inertius.* » — Dans ses remarquables lettres sur les substances alimentaires, M. Isidore Geoffroy Saint-Hilaire[2] a montré qu'en portant atteinte à son activité physique, le régime trop exclusivement végétal énerve l'énergie morale, affaiblit les facultés supérieures de l'homme : « Que de grands faits dans la vie des nations, dit-il, auxquels les historiens assignent des causes diverses et complexes, et dont le secret est au foyer des familles ! Voyez l'Irlande, voyez l'Inde ! L'Angleterre régne-

[1] *Elementa physiologiæ.* Tome VI, page 199.

[2] *Lettres sur les substances alimentaires et particulièrement sur la viande du cheval.* Paris, 1856.

rait-elle paisiblement sur un peuple en détresse, si la pomme de terre, presque seule, n'aidait celui-ci à prolonger sa lamentable agonie? Et par delà les mers, cent quarante millions d'Hindous obéiraient-ils à quelques milliers d'Anglais, s'ils se nourrissaient comme eux? Les brahmes, comme autrefois Pythagore, avaient voulu adoucir les mœurs; ils y ont réussi, mais en énervant les hommes. »

Les bons effets de la présence d'une certaine proportion de matière azotée dans les aliments consommés n'est donc pas contestable, et, d'ailleurs, l'observation est ici parfaitement d'accord avec les indications de la théorie. Les tissus des végétaux, comme ceux des animaux, contiennent à la fois des matières organiques non azotées et des substances albuminoïdes; seulement les matériaux sucrés, gras et amylacés prédominent dans les premiers, et les substances azotées dans les seconds. Quel que soit le régime alimentaire adopté, végétal, animal ou mixte, les produits préparés par la digestion sont donc au fond de même nature; une seule chose varie, la quantité absolue et relative de matière albuminoïde introduite dans le torrent circulatoire. Enfin l'observation nous apprend qu'à chaque instant les parties constituantes azotées des organes, usées, ramenées à un état de simplification qui les rend impropres à l'entretien des fonctions, sont rejetées au dehors, et nous savons, d'autre part, que, pour

faire face à ce travail moléculaire incessant, l'animal ne dispose que des matières alimentaires azotées qui peuvent, *seules*, servir au développement et au renouvellement de ses tissus.

Il était donc naturel de prendre pour mesure du *pouvoir nutritif* des aliments la quantité d'azote qui entre dans leur composition. Dans un très-beau travail sur cette question, M. Boussingault a su faire marcher de front et contrôler les uns par les autres les inductions de l'analyse chimique et les résultats de l'expérimentation directe sur les animaux ; il a ainsi déterminé les *équivalents nutritifs* des principales matières alimentaires fournies par le règne végétal. C'est à tort qu'on lui a reproché d'avoir exagéré l'importance de ces données expérimentales et de n'avoir pas bien compris toutes les difficultés du problème de l'alimentation. Tout en montrant que les matières organiques *les plus riches en azote* sont en réalité *les plus nourrissantes*, l'habile et savant expérimentateur s'est bien gardé de conseiller l'usage exclusif des matières albuminoïdes ; il a, au contraire, toujours défendu cette doctrine que, dans tout bon régime alimentaire, les matières non azotées doivent être associées, dans des proportions convenables, aux substances albuminoïdes.

Contrairement à la théorie de l'origine de la puissance musculaire professée par M. Liebig, l'expérience si remarquable de MM. Fick et Wislicenus

démontre que la force mécanique dépensée pendant le travail n'est pas fournie par l'oxydation de la substance musculaire elle-même, mais par la combustion des matériaux organiques du sang. D'autre part, nous savons que les aliments albuminoïdes peuvent *seuls* fournir les matériaux nécessaires à l'entretien, au développement et à la rénovation du système musculaire, et que, chez un animal bien nourri, le travail n'augmente pas sensiblement l'usure de la fibre contractile. N'oublions pas enfin que les matières non azotées (les amylacés, les sucres et surtout les huiles et les graisses) sont complétement brûlées dans l'économie, coûtent à poids égal beaucoup moins cher que les viandes, et fournissent, sous forme de chaleur, une quantité très-considérable de force disponible. Ces principes, dont l'exactitude est aujourd'hui établie d'une manière incontestable, doivent toujours servir de guide à l'hygiéniste appelé à régler le régime alimentaire des populations ouvrières.

A moins d'être prise en quantité assez considérable pour fatiguer les voies digestives, une alimentation exclusivement végétale ne peut pas fournir toute la matière albuminoïde nécessaire au développement complet du système musculaire du travailleur; il ne faut donc pas s'étonner si, soumis depuis longtemps à ce régime débilitant, les ouvriers français se sont souvent trouvés trop faibles pour

supporter les travaux pénibles imposés par l'industrie moderne. Entraînés par des idées théoriques erronées et ne tenant pas un compte suffisant des conditions d'une nutrition normale et régulière, des physiologistes d'un très-haut mérite ont cherché le remède à ce mal dans une extension outrée de la consommation de la viande. La science nous apprend à nous tenir en garde contre toutes ces exagérations ; en parfait accord avec les résultats de l'observation, elle nous dit : Il faut aux populations ouvrières un régime alimentaire mixte contenant, d'une part assez de matière non azotée pour fournir, en chaleur de combustion, toute la force disponible consommée par les pertes de chaleur et par le travail extérieur, d'autre part la proportion de matériaux azotés exigée par l'entretien d'un système musculaire puissamment développé. — Malgré tous les progrès faits dans cette direction depuis quelques années, la viande, en raison de son prix trop élevé, n'entre pas encore pour une assez forte proportion dans l'alimentation des populations industrielles et agricoles ; c'est donc avec raison que les économistes modernes demandent aux agriculteurs de modifier leurs systèmes d'exploitation, de se livrer moins exclusivement à la culture des céréales et de produire plus d'animaux pour la boucherie.

A l'appui de ces considérations, nous ne saurions mieux faire que de rapporter ici les remarquables

conclusions des belles expériences de M. Boussingault sur la *statique de la digestion*[1] ; cette citation aura en outre l'avantage de mettre en pleine lumière les doctrines à la fois si justes et si sages professées par cet habile expérimentateur sur le rôle joué dans la nutrition par les substances alimentaires de nature diverse.

« La digestion, dit-il, se compose de deux ordres de phénomènes : elle remplace les matériaux du sang incessamment détruits par la respiration, en même temps qu'elle restitue ou qu'elle ajoute de nouvelles parties à l'organisme. Les produits de la digestion doivent donc suffire d'une part à la combustion respiratoire, source de la chaleur animale, et, de l'autre, à l'assimilation. J'observerai que, de ces deux phénomènes, celui de la respiration semble être le plus indispensable : un animal privé de nourriture respire et n'assimile pas. Tout régime qui n'introduit pas dans le sang les éléments nécessaires à l'entretien de cette fonction conduira tôt ou tard à l'inanition. En effet, chaque être vivant, pour assurer son existence, doit avant tout développer, dans un temps donné, une certaine quantité de chaleur, il doit donc aussi recevoir, dans le même espace de temps, une certaine quantité d'éléments combustibles. Réduite à cette stricte dose, la nour-

[1] *Annales de chimie et de physique*. 3e série. 1846. Tome XVIII, page 476.

riture ne suffirait pas encore, parce qu'elle ne réparerait pas les pertes qui ont lieu par diverses sécrétions qui ne cessent pas de se manifester, même durant la diète la plus absolue ; aussi, lorsqu'une ration ne fournit pas ce qui est nécessaire pour subvenir aux dépenses des fonctions respiratoires, on peut conclure rigoureusement que cette ration est incapable d'entretenir la vie.

« Les résultats exposés dans ce mémoire, en montrant que l'albumine, la fibrine, le caséum, bien qu'absorbés en proportions considérables par les voies digestives, ne fournissent pas assez d'éléments combustibles à l'organisme, expliquent selon moi pourquoi ces substances, si éminemment propres à l'assimilation, deviennent cependant des aliments insuffisants quand elles sont données seules. Pour qu'elles nourrissent complétement, il faut qu'elles soient unies à des matières qui, une fois parvenues dans le sang, y brûlent en totalité, sans se transformer en corps qui sont aussitôt expulsés, comme cela arrive à l'urée et à l'acide urique ; aussi les substances alimentaires essentiellement combustibles, comme l'amidon, le sucre, les acides organiques et je me hasarde à y joindre la gélatine, entrent-elles toujours pour une proportion plus ou moins forte dans la constitution des aliments substantiels. Ce sont ces différentes matières qui se consument aussitôt qu'elles sont entrées dans le système circu-

latoire, que M. Dumas a désignées depuis longtemps sous le nom d'aliments respiratoires, indiquant ainsi que leur rôle principal est de contribuer à la production de la chaleur animale et d'économiser, en quelque sorte, les matériaux azotés, plus spécialement destinés à l'assimilation. Les recherches que je viens de présenter m'autorisent à ajouter à ces ingénieuses considérations, que si, comme chacun sait, les substances albuminoïdes ne peuvent pas être remplacées en totalité dans la nutrition par des substances non azotées, elles ne peuvent pas davantage être substituées totalement à ces dernières, et que, de toute nécessité, l'albumine, la fibrine, le caséum, pour devenir une nourriture substantielle, doivent être associés à un aliment respiratoire[1]. »

Nous avons déjà vu (page 94) comment, dans les dernières années du dix-septième siècle, J. Mayow avait su déduire, de ses travaux sur la composition du *sel de nitre*, une théorie complète de la respiration et de la calorification ; pour lui, la respiration avait pour but de séparer un des éléments de l'air, l'*esprit nitro-aérien*, de l'introduire dans l'économie, de le mêler au sang, et la chaleur animale était le résultat de la *fermentation* déterminée par l'action réciproque de cet *esprit nitro-aérien* et des parties

[1] Voir aux documents, V.

sulfureuses (combustibles) du sang. Mayow ne s'arrêta pas là dans son analyse des phénomènes physiologiques. La contraction musculaire attira fortement son attention. Dans son traité *de Motu musculari*, il démontra l'inanité des explications données par ses prédécesseurs, il précisa beaucoup mieux qu'on ne l'avait fait avant lui le mécanisme de l'action du muscle, et s'arrêta définitivement à cette idée que la contraction est le résultat de la réaction réciproque de *particules de nature différente* mises en présence dans l'intérieur du muscle lui-même.

Puisque, dit-il, la circulation distribue au système musculaire plus de sang artériel qu'aux autres parties de l'économie et que cet afflux continu de sang, toujours plus abondant que ne l'exige la nutrition, augmente pendant les mouvements violents du corps, il est permis de conclure que le sang artériel apporte au muscle *un des éléments* nécessaires à la mise en jeu de la contractilité. A l'appui de cette proposition, il invoque la belle expérience par laquelle Stenon avait montré qu'il suffit de lier l'artère nourricière d'un muscle pour faire cesser les *contractions volontaires*. Pour lui, le sang artériel est riche en *particules motrices*, dont la chair musculaire s'empare; ces *particules motrices*, fixées dans les muscles, sont consommées et incessamment renouvelées par l'afflux continu de sang artériel. Il se hâte de faire observer que tout animal *engraisse lorsqu'il est tenu au repos*

et maigrit lorsqu'il travaille. De ce rapprochement, Mayow conclut que les *particules motrices*, cédées au muscle par le sang artériel sont des substances *sulfureuses* (combustibles) de *la nature de la graisse.* La consommation de ces *particules motrices*, de ces éléments *sulfureux* (combustibles) du sang, augmente donc à mesure que les contractions musculaires deviennent elles-mêmes plus considérables et plus prolongées ; de là résulte la nécessité reconnue de proportionner la matière alimentaire des animaux au travail qu'on leur impose ; car, ajoute-t-il, *cruoris massa ab alimentis quotidie renovatur.*

Mais la contraction musculaire ne dépend pas seulement des *particules motrices* du sang artériel ; le muscle ne peut entrer en action qu'à la condition d'être soumis à l'influence des *esprits animaux*, car la section ou la ligature d'un nerf suffit pour rendre impossibles les contractions du muscle dans lequel il se distribue. Mayow n'hésite pas à affirmer que ces *esprits animaux* ne sont autre chose que des *particules d'esprit nitro-aérien.* — Dans les poumons l'air cède au sang son esprit *nitro-aérien;* le cerveau fixe, emmagasine les *particules d'esprit nitro-aérien* du sang que lui apportent les artères et, par l'intermédiaire des nerfs, les distribue à l'économie sous le nom d'*esprits animaux.* — La contraction du muscle est le résultat du conflit des *particules motrices*, *sulfureuses* (combustibles) et des *esprits animaux* (*par-*

ticules d'esprit nitro-aérien) que lui apportent d'une part les artères et d'autre part les nerfs.

Si pendant le travail la respiration s'accélère, c'est que l'air doit fournir au sang une plus forte proportion d'*esprit nitro-aérien*, pour renouveler les *esprits animaux* à mesure qu'ils sont *dépensés*. Si l'animal qui travaille a besoin de prendre une nourriture plus abondante, c'est que la contraction musculaire entraîne nécessairement une consommation plus considérable de *particules motrices*, *sulfureuses* (combustibles) du sang[1].

La lecture attentive des travaux de J. Mayow nous autorise en définitive à donner les propositions suivantes comme résumé exact de ses doctrines physiologiques :

[1] Il est impossible de parler du traiter *de Motu musculari*, sans signaler à l'attention des physiologistes le très-remarquable article consacré par J. Mayow à l'examen de cette question : *Qua ratione saltus perficitur?* — Willis avait émis cette singulière opinion que la contraction des muscles ne peut pas détacher du sol le corps de l'animal, et avait invoqué une prétendue *force élastique* des organes pour expliquer les phénomènes du saut. — J. Mayow s'élève avec raison contre cette tendance à se contenter d'explications vagues et mal définies, analyse avec soin les conditions au milieu desquelles le saut s'exécute et montre que, pour se préparer au saut, l'homme doit nécessairement fléchir ses articulations. Il montre ensuite comment les muscles extenseurs en se contractant violemment, redressent rapidement les articulations et communiquent au corps tout entier une vitesse qui l'entraîne, comme un projectile, dans la direction de la résultante de ces impulsions partielles. C'est donc à J. Mayow qu'appartient la gloire d'avoir découvert et nettement formulé, dès 1674, la véritable théorie du saut.

Le sang fournit les matériaux de toute nutrition ; les éléments constitutifs du sang sont sans cesse renouvelés par la digestion.

Dans les poumons l'air cède au sang un de ses éléments, l'agent de toute combustion, l'*esprit nitro-aérien ;* au moment où s'opère ce mélange, le sang change de couleur, de noirâtre devient rutilant, de veineux devient artériel.

Le placenta est l'organe de la respiration du fœtus ; c'est un *poumon utérin.*

La chaleur animale résulte de la *fermentation* du sang développée par le conflit de l'*esprit nitro-aérien* et des éléments *sulfureux* (combustibles) du sang artériel.

La contraction musculaire est le résultat du conflit, dans l'intérieur du muscle, des éléments *sulfureux* (combustibles) du sang artériel et des *particules d'esprit nitro-aérien* distribuées aux muscles par les nerfs sous la dénomination d'*esprits animaux.*

Ainsi donc Mayow rapportait les trois grandes manifestations dynamiques des animaux (la calorification, la contractilité des muscles, l'action du système nerveux) à l'action réciproque de l'*esprit nitro-aérien* de l'air et des matières *sulfureuses* (combustibles) du sang, c'est-à-dire à l'*affinité chimique.* Il traduit nettement sa pensée dans cette phrase remarquable de son traité *de Motu musculari.*

« Quoad artificium autem machinæ animalis,

« illud in eo consistit, quod partes corporis tanta « concinnitate formentur, ut a causis vulgaribus « effectus plane stupendi in eadem producantur. »

Il ne faut pas s'attendre à trouver dans les publications de J. Mayow les preuves expérimentales, irrécusables de la vérité de ces belles propositions ; ajoutons même qu'il serait injuste de les exiger de lui. La science à son époque n'était pas assez avancée pour lui permettre d'asseoir ses doctrines sur de telles bases. Un siècle devait s'écouler avant que Lavoisier vînt constituer la chimie à l'état de vraie science et donner aux physiologistes les moyens de déterminer avec exactitude le rôle joué par les actions chimiques dans le travail de la nutrition. Sans doute les obscurités de langage, les vaines hypothèses, les explications erronées fourmillent dans les divers traités de J. Mayow ; mais le fond de sa doctrine physiologique est vraie. On demeure étonné de tout ce qu'il lui a fallu de rectitude de jugement, de puissance d'intuition et de génie pour, avec le peu de matériaux dont il pouvait disposer, pénétrer si avant dans l'analyse des phénomènes de la vie.

ARTICLE III

ACTIVITÉS DU SYSTÈME NERVEUX

Sous l'influence de la radiation solaire, les surfaces vertes des végétaux jouissent de la faculté de décomposer l'acide carbonique, de retenir le carbone et de rendre l'oxygène à l'atmosphère ; dans ces circonstances, elles consomment la chaleur solaire et l'utilisent pour créer la matière organique aux dépens de la matière minérale. Mais, dans l'obscurité, ces mêmes surfaces vertes contractent de tout autres rapports avec le milieu ambiant, elles consomment l'oxygène de l'air, brûlent la matière organique et produisent de la chaleur comme les animaux. La fleur par ses pétales et ses organes sexuels, la graine qui germe, la racine enfouie dans le sol, fonctionnent d'une manière permanente comme les surfaces vertes dans l'obscurité, sont de vrais appareils de combustion, d'oxydation. L'antagonisme entre les végétaux et les animaux, bien que réel, n'est donc ni assez complet, ni assez permanent pour que les rapports des êtres vivants avec l'atmosphère puissent servir à tracer une ligne de démarcation absolue entre les deux règnes du monde organisé.

Nous devons en dire autant de la composition chimique. D'une part, nous savons depuis longtemps que la matière azotée neutre est très-répandue dans le règne végétal; d'autre part, les découvertes faites dans ces dernières années prouvent que les matières amylacées et même la cellulose se retrouvent en quantité notable chez les animaux. Les recherches de M. Rouget ont établi en effet, que sous les noms de *zooamyline* ou de *matière glycogène*, le principe amylacé entre dans la constitution du tissu musculaire, du poumon, des cellules du foie, du placenta et des cellules amniotiques, des cellules épithéliales, des cartilages et généralement de toutes les cellules animales en voie de formation. De son côté, M. Schmidt a découvert que la *cellulose* fait partie de l'enveloppe tégumentaire des *tuniciers* et M. Berthelot a transformé la *tunicine* en sucre.

On a demandé aux phénomènes d'excitation et de mouvement les caractères distinctifs du règne végétal et du règne animal. Mais les plantes ne peuvent pas être considérées comme dépourvues de contractilité et d'excitabilité. — Les feuilles de la *dionée attrape-mouche*, de la Caroline, sont garnies de cils; quand un insecte vient s'y poser, les lobes se rapprochent et le retiennent comme dans une cage, tant qu'il fait des mouvements pour s'échapper. — A la moindre excitation portée sur sa base, le filet de l'étamine de l'*épine-vinette*, s'incline vers le

style et met l'anthère chargée de pollen en contact avec le stigmate. — Une pression exercée sur les poils tubuleux de l'*ortie* provoque la contraction des organes vénéneux situés à leur base et l'expulsion du suc toxique. — Rappelons encore les phénomènes si remarquables observés sur les feuilles composées de la *sensitive*. Quand on touche une feuille, les follioles se replient dans toute la longueur du pétiole commun, celles de gauche s'appliquent par leur face supérieure sur la face supérieure de celles de droite; le phénomène est identique à celui de l'accolement des deux moitiés latérales d'une feuille simple; puis la feuille composée ainsi refermée sur elle-même s'incline vers la terre. Il ne faut pas croire que les effets de l'excitation restent toujours localisés à la feuille touchée; quand elle est forte, l'excitation portée sur une seule feuille est transmise à travers le pétiole et s'étend, de la périphérie au centre, à toute la plante. A l'inverse, quand on fait tomber sur la racine quelques gouttes d'acide sulfurique, l'excitation se propage du centre à la périphérie, des pétioles aux follioles, et toutes les feuilles, successivement envahies de bas en haut, se replient sur elles-mêmes et s'infléchissent vers la terre. Ces phénomènes ont de grandes analogies avec ce qui se passe dans les muscles des animaux. Aux points d'attache des follioles et dans les renflements de la base des pétioles, il existe des cellules remplies

d'une gelée finement granuleuse analogue à la substance contractile des fibres musculaires. L'observation directe sous le microscope a permis à M. le professeur Vulpian de s'assurer que ces cellules se *raccourcissent* quand on les excite. D'autres faits bien constatés du même genre existent dans la science; ainsi M. F. Cohn, de Breslau, a trouvé dans les filets des étamines des *cynarées* des cellules allongées, striées longitudinalement à l'état de repos, qui se contractent sous l'influence de certains excitants, de l'électricité entre autres, et dont la surface se recouvre de stries transversales très-prononcées. — Ces exemples, que nous pourrions beaucoup multiplier, suffisent pour établir : d'une part, que le tissu végétal est *excitable* et capable de *transmettre* à la plante tout entière une excitation mécanique, chimique ou physique portée sur un point déterminé; d'autre part, que, sous l'influence de cette excitation directe ou transmise, les organes des végétaux peuvent exécuter des *mouvements provoqués*.

Les plantes exécutent aussi des mouvements *spontanés*, les uns intermittents et se montrant seulement à certains moments du jour ou de la vie du végétal, les autres continus. — Pendant le crépuscule, et surtout pendant la nuit, beaucoup de plantes changent complétement de physionomie, par suite de la position nouvelle que prennent les feuilles en passant à cet état particulier qu'on appelle leur

sommeil. Les mouvements qu'elles exécutent alors sur leur pétiole changent de direction suivant les espèces. Les feuilles composées sont plus que toutes les autres assujetties au sommeil et le prennent dans les poses les plus variées. De Candolle a étudié avec beaucoup de soin l'influence des circonstances extérieures sur le sommeil des plantes; il a montré que l'action de la lumière joue un rôle considérable dans ce phénomène. Il était parvenu à tromper en quelque sorte, à *désheurer* des sensitives et quelques autres végétaux, à les faire dormir le jour dans une obscurité artificielle, à les faire veiller la nuit à la clarté des lampes. Cependant il est des plantes qui ne changent pas ainsi d'habitude; elles continuent à dormir la nuit et à veiller le jour, même quand on les maintient longtemps dans une obscurité complète. — Les feuilles exécutent une autre espèce de mouvement très-remarquable. Elles offrent en général deux faces distinctes : une supérieure, tournée vers le soleil; une inférieure, qui regarde la terre. Si l'on incline le rameau de manière à intervertir cette direction, la feuille tourne sur son pétiole ou sur sa base d'insertion et reprend sa position naturelle.

Les fleurs et leurs diverses parties constituantes exécutent aussi, sous l'influence de la lumière, des mouvements très-remarquables. — La fleur de *l'Hélianthe* de nos jardins change de position sur son pé-

doncule aux diverses heures de la journée et regarde toujours le soleil. — Certaines fleurs, comme la *belle-de-jour*, referment complétement leur corolle pendant la nuit; d'autres, comme la *belle-de-nuit* et la *reine-des-nuits* (*cactus grandiflorus*), ne s'épanouissent qu'au crépuscule, restent ouvertes toute la nuit et se referment au lever du soleil. — Une espèce d'ornithogale, la *dame-de-onze-heures*, s'ouvre régulièrement et plusieurs jours de suite à onze heures du matin. Les botanistes ont surtout fixé leur attention sur ce fait assez constant de l'épanouissement et de l'occlusion de certaines fleurs à certaines heures toujours les mêmes; leurs habitudes une fois connues permettent de déterminer l'heure du jour par leur passage d'un de ces états à l'autre. C'est ce que Linné appelait l'*Horloge de Flore;* les tables qu'il a construites pour la former ont été étendues depuis et établies avec plus d'exactitude; mais les jours se ressemblent trop peu et la lumière est trop inégalement distribuée pour que la marche d'une telle horloge ne soit pas souvent dérangée. — La chaleur et l'état hygrométrique de l'atmosphère exercent aussi une certaine influence sur les mouvements des fleurs. Le *souci-des-pluies* (*calendula pluvilis*) doit ce nom à la propriété qu'il a de se fermer quand le temps est disposé à la pluie. On donne le nom de *météoriques* à certaines plantes dont les fleurs, par la direction et les courbures de leurs pé-

tales, traduisent l'état de sécheresse ou d'humidité de l'air ; on a profité de ce phénomène pour faire un *Hygromètre de Flore* dont les indications sont encore moins sûres que celles de son *Horloge*.

Intimement liés à l'acte de la fécondation qu'ils favorisent, les mouvements spontanés des organes sexuels des fleurs ont plus particulièrement fixé l'attention des observateurs. — Le plus souvent ce sont les étamines qui, par la courbure de leurs filets, ramènent les anthères vers le stigmate. Dans la *rue*, les huit étamines sont disposées sur deux rangées concentriques ; ce sont les quatre étamines de la rangée extérieure qui s'inclinent les premières, les intérieures n'exécutent leur mouvement qu'un peu plus tard. Dans le *Parnassia*, les cinq étamines entrent en mouvement dans un ordre déterminé, et s'appliquent l'une après l'autre sur le stigmate. Les dix étamines de la fleur du *saxifraga tridactylis* se meuvent aussi régulièrement et successivement, mais par groupe de deux. — Chez quelques plantes, c'est l'organe femelle qui entre en mouvement ; le style s'incline en dehors et ramène le stigmate vers l'anthère. Quelquefois, comme dans une espèce de *callinsonia*, ce mouvement latéral du style est assez prononcé, assez étendu pour que le stigmate d'une fleur, se rendant coupable d'une sorte de concubinage, aille chercher les étamines d'une fleur voisine. — Ajoutons enfin que, dans certaines fleurs

appartenant aux familles des *malvacées*, des *onagres*, etc., le stigmate et l'anthère se portent l'un vers l'autre par l'inclinaison, soit combinée, soit alternative, des filets et des styles.

Les feuilles du *desmodium gyrans* présentent un mouvement très-remarquable par sa continuité. Chaque feuille se compose de trois folioles : la terminale est grande et soumise seulement aux alternatives de la veille et du sommeil. Les deux autres, latérales et très-petites, sont, par un temps chaud, dans un mouvement continuel; l'une s'élève, tandis que l'autre s'abaisse; ce mouvement, qui s'exécute en 30 secondes environ, s'accompagne d'une véritable rotation de chaque foliole sur sa base et se produit jour et nuit sans interruption. — Des mouvements continus de même nature ont été observés dans les divisions de la corolle de quelques fleurs de la famille des *orchidées*.

Dans un grand nombre de végétaux inférieurs (*cryptogames*) la reproduction se fait au moyen de petits corps munis de cils vibratiles et doués de mouvements comparables à ceux des animaux infusoires. Les organes mâles (*anthéridies*) contiennent dans leur intérieur un grand nombre de cellules; dans beaucoup d'espèces, chaque cellule renferme un petit corps allongé, recourbé en cercle ou en spirale. Ces *anthérozoïdes* se déroulent et, à une certaine période de leur existence, exécutent

des mouvements très-prononcés à l'aide de leurs cils vibratiles. Les organes femelles (*sporanges*) des *algues* contiennent des corpuscules nommés *spores* ou *zoospores* qui, à leur sortie du sporange, se meuvent plus ou moins longtemps suivant les espèces, à l'aide de cils vibratiles; quand le mouvement s'arrête, les cils tombent et la germination commence.

La faculté de locomotion existe chez beaucoup de *conferves*. Les *oscillaires* se présentent sous forme de filaments formés d'une série de cellules accolées bout à bout; réunis plusieurs ensemble par une de leurs extrémités, ces filaments rayonnent dans tous les sens d'une masse commune, s'infléchissent de côté et d'autre comme un doigt; c'est par leur bout libre, souvent muni à la pointe d'une houppe de poils irréguliers, qu'ils se meuvent ainsi lentement et quelquefois brusquement et par secousses.

Dans les matières organiques privées de vie, apparaissent très-rapidement des filaments simples, articulés ou non, droits ou sinueux, libres par leurs deux extrémités, connus sous le nom de *vibrions*. Ces infusoires exécutent des mouvements spontanés très-remarquables qui longtemps les ont fait ranger parmi les animaux; les uns, tels que les *bactéries*, avancent, reculent, oscillent ou pirouettent autour de leur centre ou de leurs extrémités, comme des tiges rigides; d'autres se redressent ou s'infléchissent en ondulant comme des serpents; d'autres enfin,

les *spirillum*, tournent autour de leur grand axe et, semblables en cela à une hélice, avancent ou reculent suivant le sens dans lequel ils exécutent ce mouvement de rotation. Depuis les travaux de M. Davaine, tous les naturalistes s'accordent à considérer ces infusoires, ces vibrions, comme des végétaux.

L'excitabilité et la motilité n'appartiennent donc pas exclusivement aux animaux. Ainsi donc encore, en l'absence de tout indice d'éléments nerveux et musculaires, la matière organisée est excitable, peut transmettre à l'agrégat tout entier les excitations portées sur un point déterminé, exécute des mouvements soit provoqués, soit spontanés. L'exactitude de cette dernière conclusion se trouve confirmée par l'étude des êtres placés aux derniers degrés de l'échelle animale.

Les animaux les plus inférieurs comme organisation, les *protozoaires*, doivent, sous ce rapport, fixer notre attention d'une manière spéciale. — Dans le groupe des *rhyzopodes*, nous trouvons des animaux constitués par des masses limitées de matière gélatineuse, *protoplasmique*, sans organes apparents, renfermant seulement quelques granulations, désignées par M. Dujardin sous le nom de *sarcode*. Ces masses amorphes sont le siége de phénomènes très-manifestes d'excitabilité et de motilité. A leur surface naissent des expansions sarcodiques de formes très-diverses qui, tantôt restent isolées, tantôt se

réunissent pour se séparer ensuite; au bout d'un certain temps, on les voit se raccourcir, rentrer dans la masse, tandis que de nouvelles expansions se montrent sur d'autres points, s'allongent et disparaissent à leur tour. Certains rhyzopodes sont nus; mais généralement ces animaux s'enveloppent d'une coquille tantôt constituée par de fines particules de sable agglutinées, tantôt de nature calcaire. Cette carapace est percée de trous qui livrent passage aux expansions sarcodiques.

Les fonctions de ces prolongements sont multiples. — Ils servent à la préhension des aliments qu'ils entraînent par un mouvement de contraction lent et progressif; la surface de l'animal se déprime et forme une cavité dans laquelle la matière alimentaire est reçue et emprisonnée. — Grâce à leur viscosité, ces expansions adhèrent aux corps voisins et, en se raccourcissant, servent à la locomotion de l'animal. — Enfin ces expansions servent encore à la reproduction qui s'effectue par le procédé de la gemmation; aux points de rencontre des expansions, la matière sarcodique forme de petits amas qui peuvent se détacher et constituer de petits animaux semblables à celui dont ils proviennent. — Les phénomènes si remarquables de phosphorescence que présente l'eau de la mer dans certaines circonstances, sont presque exclusivement produits par les *Noctiluques*, animalcules du groupe des rhyzopodes.

A ce même groupe appartiennent les *foraminifères*, animalcules à carapace calcaire, dont plusieurs espèces sont microscopiques, et dont l'étude jette un si grand jour sur l'histoire de la formation de la croûte solide du globe. Il est aujourd'hui démontré que leurs dépouilles forment, en grande partie, les couches de craie et de calcaire grossier. Longtemps ces animaux n'ont été connus que par leur test dont les dimensions sont si petites que, d'après M. d'Orbigny, 30 grammes de sable des Antilles ne contiendrait pas moins de *trois millions huit cent mille* de ces coquilles. Et cependant il est certain que la plus grande des pyramides d'Égypte a été élevé avec des pierres presque exclusivement formées de coquilles de *nummulites;* l'observation démontre que les matériaux de toutes les grandes constructions exécutées de main d'homme, que les blocs de pierres utilisés de nos jours, en si grande quantité, pour bâtir les ports, les viaducs, les tunnels des chemins de fer, les digues opposées aux envahissements de la mer, les maisons de Paris et de toutes les grandes villes, proviennent de bancs de calcaire composés en grande partie des carapaces de foraminifères. Les sondages exécutés dans l'Atlantique ont démontré qu'entre l'Europe et l'Amérique du Nord, le lit de l'Océan a été formé par les foraminifères et que ces animalcules continuent leur travail. En présence de ces résultats désormais acquis à la science, l'imagi-

nation s'effraye de l'immense quantité de ces animalcules qui ont dû successivement apparaître à la surface du globe et du temps qui s'est écoulé depuis le jour où de leurs débris se formèrent les premières assises des roches crayeuses et calcaires de la croûte solide de la terre.

Ces rhyzopodes forment, avec les vibrioniens, une transition entre le règne végétal et le règne animal. Ils nous apparaissent comme des êtres dépourvus de toute espèce d'organes spéciaux, de tout élément anatomique figuré; cependant ils sont évidemment doués d'excitabilité et de motilité; ajoutons même que leur état d'activité spontanée est caractérisé par des manifestations coordonnées et adaptées à un but fonctionnel.

Chez les *infusoires*, qui appartiennent aussi au type des protozoaires, les phénomènes d'excitabilité et de motilité sont beaucoup plus nets et plus évidents; il serait même possible de trouver chez eux quelques vagues et confuses manifestations instinctives.

Dans l'embranchement des *zoophytes*, les *polypes d'eau douce*, dont l'organisation diffère beaucoup de celle des protozoaires, offrent à l'observation des phénomènes très-importants au point de vue où nous sommes placé. Leur corps est composé de cellules. Autour de l'ouverture unique de la cavité digestive, par laquelle pénètrent les aliments et sont

expulsés les résidus de la digestion, sont rangés de longs filaments que l'animal allonge ou retire à volonté. Ces tentacules sont, pour le polype, des organes de locomotion ; ils lui servent aussi à atteindre, à saisir sa proie, à l'amener vers l'orifice buccal. Tous ces actes divers de motilité auxquels succède la déglutition de l'aliment indiquent que, indépendamment de l'excitabilité et de la contractilité spontanée et provoquée, ces animaux sont doués d'un faible degré d'instinct. Leur corps est transparent et le microscope permet de pénétrer tous les détails de leur organisation. L'observation la plus attentive n'est parvenue à découvrir, dans l'*hydre d'eau douce*, que des cellules, à peu près identiques, accolées les unes aux autres; jamais on n'a pu constater dans ces animaux la moindre trace appréciable ni de fibres musculaires, ni de fibres ou cellules nerveuses.

Ces faits, empruntés en grande partie aux *Leçons sur la physiologie comparée du système nerveux* de notre collègue et ami M. le professeur Vulpian, déposent tous en faveur de cette idée fondamentale que les manifestations les plus caractéristiques de l'état de vie, loin d'accuser l'intervention de forces spéciales et indépendantes du support, doivent être considérées comme les résultats de la mise en jeu des propriétés, des activités propres, de la matière organisée. Après cette étude sommaire de l'excitabilité et de la contractilité chez ces êtres qui servent de

passage entre les deux règnes organiques, nous sommes certainement autorisé à répéter avec cet éminent physiologiste[1] :

« Pourquoi ne pas reconnaître que la matière organisée peut offrir simultanément, et mêlées les unes avec les autres, les diverses propriétés qui se séparent chez les animaux supérieurs ! Ne peut-on pas admettre, comme une hypothèse assez plausible, que, dans cette matière organisée, les diverses substances qui doivent se séparer ailleurs pour former des éléments anatomiques distincts, sont amalgamées, pour ainsi dire ? Il faut bien remarquer, en définitive, que les propriétés physiologiques appartiennent non pas à l'*élément anatomique figuré*, mais à la matière qui le compose. La figure que revêt cette matière, pour constituer l'élément anatomique, peut bien avoir de l'influence sur le sens dans lequel s'exerce l'action physiologique ; mais elle ne peut avoir, au fond, aucune influence sur l'existence même de la propriété. Elle n'est, suivant toute vraisemblance, qu'un mode de perfectionnement et apparaît lorsque les substances douées d'une activité physiologique spéciale se séparent pour remplir isolément leur rôle.

« Il est clair, d'ailleurs, qu'un pareil état des choses doit nuire à la perfection du mécanisme des

[1] *Leçons sur la Physiologie générale et composée du système nerveux*, page 43.

fonctions. Aussi cette diffusion des propriétés physiologiques ne peut exister que dans les organismes très-inférieurs. Dès que les fonctions exigent une grande précision, des éléments anatomiques distincts, doués de propriétés spéciales, apparaissent; il y a, dès lors, des organes, des appareils plus ou moins séparés les uns des autres; il y a des fonctions confiées exclusivement à tels ou tels organes, à tel ou tel appareil.

« C'est ainsi que se fait la *division du travail physiologique*, ce grand procédé de perfectionnement dont j'ai déjà dit un mot dans ma première leçon, en vous rappelant que cette vue philosophique est due à M. Milne Edwards. C'est ainsi que se constituent les organes nerveux. Ce sont donc là des instruments de perfectionnement. »

Si de l'étude des protozoaires nous passons à celle des animaux plus haut placés dans l'échelle des êtres, nous voyons les activités caractéristiques de l'état de vie s'isoler, devenir les attributs exclusifs d'éléments anatomiques figurés. Mais, quelque perfectionnée que soit l'organisation de l'animal considéré, quelque profonde que soit la séparation des diverses fonctions, nous devons nous attendre à ne rencontrer, dans ces éléments anatomiques figurés, que les propriétés fondamentales du *protoplasma*. La propriété, en effet, appartient à la matière de l'élément anatomique et non à sa forme. Ce principe va

nous servir de guide dans l'analyse des activités du système nerveux.

Les nerfs jouent le rôle de cordons conducteurs, destinés à maintenir en communication constante les centres nerveux et les diverses parties du corps. Les uns transmettent aux centres nerveux les excitations de toute nature auxquelles sont soumis les organes dans lesquels ils se distribuent, et provoquent les réactions de ces centres ; les autres recueillent et transmettent aux muscles les excitations motrices développées dans les centres nerveux par une cause quelconque. L'histologie nous apprend d'ailleurs que, quelle que soit la fonction d'un nerf, les tubes et fibres élémentaires qui le constituent sont composés au fond des mêmes éléments, disposés de la même manière. Depuis son origine jusqu'à sa terminaison, la fibre nerveuse est continue ; elle s'accole aux fibres voisines, mais garde toujours son identité. Elle ne reste pas simple dans tout son trajet, elle se divise plusieurs fois à mesure qu'elle approche de la périphérie, et fournit plusieurs subdivisions au moment où elle se termine. Cette terminaison se fait par des extrémités libres, sans anses, ni arcades, ni réseaux véritablement terminaux. Les appareils terminaux des nerfs moteurs ne sont pas complétement identiques à ceux des nerfs sensitifs ; mais, sauf cette différence, on peut dire que la terminaison des fibres nerveuses est partout sensiblement la même ; c'est,

dans tous les cas, le *cylinder axis* qui persiste seul et qui seul entre en rapport avec les organes terminaux.

Considérés physiologiquement dans leurs rapports avec les centres nerveux d'où ils émanent et avec les organes périphériques auxquels ils se distribuent, les nerfs nous apparaissent comme des appareils *excitables*, *conducteurs* des excitations *internes* ou *externes* auxquelles ils sont soumis, *excitateurs* des organes auxquels ils transmettent les excitations reçues, et par cela même capables de mettre en jeu l'*activité propre*, les uns des centres nerveux, les autres de la fibre musculaire.

Les nerfs qui établissent la communication entre la peau et les centres nerveux transmettent au cerveau et à la moelle épinière les excitations périphériques, et déterminent, soit des manifestations de *douleur*, soit des actions *excito-motrices*, tandis que les nerfs qui se rendent des centres nerveux aux muscles ne provoquent, sous l'influence d'une excitation, que des contractions musculaires. Dans le premier cas la transmission est centripète, elle est centrifuge dans le second, et les manifestations provoquées par ces deux ordres de nerfs, sous l'influence d'un même mode d'excitation, sont complétement différentes. Cette spécialité de manifestations provoquées par les nerfs à transmission centripète et par les nerfs à transmission centrifuge doit-elle

être considérée comme la preuve de l'existence, dans ces deux ordres de nerfs, de propriétés fondamentales différentes, que ni leur composition chimique, ni leur texture anatomique, ne permettent de soupçonner? N'est-il pas, au contraire, plus rationnel d'admettre que les propriétés fondamentales de ces deux ordres de nerfs sont les mêmes, et que la différence des effets produits provient exclusivement d'une différence dans les activités propres des organes auxquels les impressions reçues sont transmises? Nous n'hésitons pas à adopter sans restriction cette dernière interprétation dont l'exactitude a été défendue et démontrée avec tant de talent par M. le professeur Vulpian.

La fibre nerveuse est douée d'une *activité propre*, de nature encore inconnue, qu'avec MM. Lewes et Vulpian nous appellerons *neurilité*, et qui, une fois mise en jeu par une excitation quelconque, est transmise dans tous les sens. — Dans les nerfs dits *sensitifs*, la neurilité transmise au bout périphérique ne peut exercer aucune influence sur la peau ; du côté du bout central, au contraire, elle met en jeu l'activité propre de la substance grise, et par son intermédiaire détermine des manifestations de douleur ou d'excito-motricité. — Dans les nerfs dits *moteurs*, les phénomènes sont inverses ; du côté du bout central, la neurilité n'exerce aucune action sur la substance grise et ne produit aucune manifestation ; par le bout

périphérique, elle aboutit aux masses musculaires dont elle met en jeu l'activité propre, la contractilité. — Du moment où les organes, excitables eux-mêmes par l'action de la neurilité, jouissent d'activités propres distinctes, il n'y a nulle difficulté à comprendre que les phénomènes déterminés par l'excitation des nerfs sensitifs et les nerfs moteurs soient très-différents, bien que la neurilité soit absolument la même dans les deux ordres de nerfs. Suivant l'heureuse expression de M. Vulpian, les centres nerveux et les muscles sont *deux réactifs différents*, traduisant chacun à sa manière l'action de la neurilité. C'est ainsi que, suivant la nature des corps soumis à son action, on obtient avec un même agent, le courant électrique, de la chaleur, de la lumière, la déviation de l'aiguille aimantée, l'aimantation du fer doux et de l'acier, un transport de liquide, une décomposition chimique, un courant d'induction, le soulèvement d'un poids, une sensation de douleur et de lumière, une contraction musculaire.

D'abord il est facile de démontrer que, malgré ses connexions avec les centres nerveux, la fibre nerveuse ne leur emprunte pas son principe d'action, en d'autres termes que la neurilité est un attribut indépendant de cette fibre, qu'elle lui appartient en propre. Lorsqu'un nerf mixte, le sciatique par exemple, est sectionné en travers, le bout périphérique conserve son excitabilité pendant quelque temps.

Mais cette excitabilité s'affaiblit peu à peu de la surface sectionnée à la périphérie. M. le professeur Longet a démontré qu'après *quatre* jours, toute trace d'excitabilité est éteinte dans toute la longueur de ce bout périphérique ; il est alors impossible d'obtenir une contraction musculaire, même en portant l'excitation sur les extrémités terminales du nerf. Les observations microscopiques démontrent que cette abolition de l'excitabilité est le résultat de l'altération graduellement croissante de la texture de la fibre élémentaire ; au bout de deux ou trois mois, la désorganisation est complète, la substance médullaire a disparu ; cependant le *cylinder axis* persiste toujours parfaitement reconnaissable, quoique sans doute assez altéré pour avoir perdu ses propriétés physiologiques. Cette altération porte d'ailleurs sur toutes les fibres élémentaires, aussi bien sur celles qui proviennent des racines postérieures que sur celles qui sont fournies par les racines antérieures.

Mais que devient ce bout périphérique parvenu au plus haut degré de dégénérescence atrophique ? Que le nerf ait été simplement divisé ou qu'on en ait excisé une longueur même considérable, la réunion peut se faire entre le bout périphérique et le bout central resté intact, au moyen de fibres nerveuses qui se développent dans l'intervalle des deux segments et les soudent l'un à l'autre. En même temps s'opère une restauration de toutes les fibres (sensitives et

motrices) du bout périphérique dont toutes les propriétés et toutes les fonctions se rétablissent.

En second lieu que se passe-t-il dans ce bout périphérique du nerf mixte sectionné lorsque, pour une cause quelconque, la réunion n'a pas lieu? Les expériences de MM. Vulpian et Philipeaux ne laissent aucun doute à ce sujet; dans ce bout périphérique isolé des centres nerveux, il s'opère une régénération le plus souvent partielle, et quelquefois si complète que tous les tubes nerveux reprennent leur état normal. Cette régénération *autogénique* s'opère avec lenteur; suivant l'âge de l'animal en expérience, il faut attendre de *trois* à *douze* mois pour voir des fibres restaurées, mais la réparation s'effectue toujours. Dans ce segment périphérique restauré et définitivement séparé des centres nerveux, l'expérience démontre que les fibres élementaires, du moins les motrices, recouvrent toutes leurs propriétés; il suffit, en effet, de soumettre ce bout périphérique à une excitation quelconque, mécanique, physique ou chimique, pour voir se contracter les muscles auxquels ils se distribuent.

La restauration autogénique se produit aussi dans le bout périphérique d'un nerf sensitif maintenu séparé des centres nerveux. Dans ce cas, il est évidemment impossible de prouver expérimentalement que les tubes sensitifs régénérés ont recouvré leurs propriétés, mais l'analogie permet d'affirmer que

la restauration est à la fois physiologique et anatomique, comme dans le cas où la soudure s'effectue entre les deux segments.

La signification de ces faits est évidente et nous pouvons répéter avec M. Vulpian[1] : « Nous sommes ainsi conduits à conclure, de la façon la plus rigoureuse possible, que la *neurilité* est bien l'attribut physiologique distinct, indépendant, fondamental des fibres nerveuses, et que l'existence de cette propriété n'est liée essentiellement qu'à l'intégrité de la structure et de la nutrition de ces éléments anatomiques. »

L'expérience a permis de pousser plus loin cette étude des propriétés physiologiques des nerfs. Chez un Coq, M. Flourens, après avoir sectionné les deux nerfs de l'aile, qui sont les analogues du médian et du radial de l'homme, réunit le bout périphérique du radial au bout central du médian et le bout périphérique du second au bout central du premier. La restauration s'effectua ; au bout de six mois, l'habile physiologiste s'assura que l'excitation du bout central du médian déterminait la contraction des muscles animés par le radial et réciproquement ; il s'assura en outre qu'une excitation portée sur le bout périphérique du radial ou du médian était transmise aux centres par le bout central du médian ou du radial et produisait de la douleur. Cette belle expérience

[1] *Leçons sur la Physiologie générale et composée du système nerveux*, page 273.

a le double inconvénient de porter sur des nerfs dont les origines sont très-rapprochées et dont les fonctions ont une très-grande ressemblance.

MM. Vulpian et Philipeaux ont commencé par déterminer la réunion du bout périphérique de l'hypoglosse, nerf moteur de la langue, avec le bout central du pneumogastrique. Après trois ou quatre mois, la réunion et la restauration sont assez complètes pour permettre d'obtenir des résultats très-importants. Toute excitation du bout central du pneumogastrique détermine une contraction des muscles de la langue. — Procédant en sens inverse, ces deux physiologistes ont soudé le bout périphérique du pneumogastrique sur le bout central de l'hypoglosse; ils se sont assurés que l'excitation du bout central de l'hypoglosse est transmise au bout périphérique du pneumogastrique et produit un ralentissement passager des mouvements du cœur.

Le fait suivant, dont les mêmes observateurs ont enrichi la science, prouve que la réunion anatomique et la communication physiologique peuvent être obtenues entre des nerfs dont les fonctions sont encore plus différentes et les origines plus éloignées. — Chez le chien, il y a accolement intime du cordon cervical du grand sympathique au nerf pneumogastrique. MM. Vulpian et Philipeaux se sont assurés qu'une excitation du bout périphérique de l'hypoglosse, préalablement soudé au bout central du pneumogastri-

que, détermine une dilatation de la pupille. Cette dernière expérience démontre donc que la communication peut s'établir entre les fibres de l'hypoglosse et celles du bout céphalique du cordon nerveux sympathique, malgré les différences si considérables d'origine et de fonction de ces deux ordres de fibres.

Enfin MM. Vulpian et Philipeaux ont sectionné en travers un nerf moteur, l'hypoglosse, et un nerf sensitif, le lingual, et ont rapproché le bout périphérique du premier du bout central du second. Toutes les fois que la réunion s'est effectuée, quatre ou cinq mois après l'opération, ils se sont assurés qu'une excitation du bout central du lingual détermine la contraction des muscles de la langue; en même temps l'animal pousse des cris de douleur. La contraction des muscles de la langue, dans ce cas, ne peut pas être attribuée à une action réflexe; elle ne s'opère que dans la moitié correspondante de l'organe. D'ailleurs, si l'on coupe le bout central du lingual à une assez grande distance du point de réunion des deux nerfs, une excitation du bout du lingual resté uni à l'hypoglosse produit la contraction des muscles de la moitié correspondante de la langue, et naturellement ne détermine aucune manifestation de douleur.

Lorsqu'on excite le bout périphérique de l'hypoglosse soudé au bout central du lingual, on produit en même temps la contraction des muscles corres-

pondants de la langue et *une vive douleur*. Cette expérience ne démontre pas nettement que l'excitation d'un nerf moteur soit propagée dans les deux sens et puisse être transmise d'un nerf de mouvement à un nerf de sentiment ; l'hypoglosse contient en effet des fibres sensitives qui ont *pu* et même *dû* se mettre en communication avec les fibres du lingual.

Pour démontrer la transmission des excitations nerveuses en même temps dans le sens centripète et dans le sens centrifuge, MM. Vulpian et Philipeaux ont procédé autrement. Il résulte de leurs recherches qu'après la résection de l'hypoglosse, le lingual, qui *à l'état normal* n'exerce aucune influence sur les muscles de la langue, acquiert la propriété de faire contracter ces muscles quand on l'excite. Quinze jours après avoir sectionné l'hypoglosse, alors que, d'après les faits établis par M. Longet, ce nerf a depuis longtemps perdu toute excitabilité, MM. Vulpian et Philipeaux ont excité le lingual et déterminé ainsi à la fois la contraction des muscles de la moitié correspondante de la langue et une vive douleur. La contraction des muscles n'est certainement pas un phénomène d'action réflexe, car elle est également produite par l'excitation du bout périphérique du lingual sectionné.

Quelques mots nous suffiront pour compléter la démonstration de l'identité des propriétés fondamentales, essentielles des fibres nerveuses. — Les recher-

ches d'électro-physiologie ont démontré que tous les nerfs ont les mêmes propriétés électro-motrices, et que l'état d'excitation modifie ces propriétés de la même manière. — Les mêmes agents mécaniques, physiques et chimiques mettent en jeu l'activité de tous les nerfs; l'irritation produite est transmise dans les nerfs moteurs et dans les nerfs sensitifs avec une même vitesse de 28 à 30 mètres par seconde.

Les faits précédents, rapprochés des résultats fournis par l'étude histologique et physiologique des centres nerveux, nous conduisent aux conclusions suivantes :

Le système nerveux est composé de deux éléments anatomiques distincts : la fibre et la cellule, qui ont partout, au fond, la même composition. — Les fibres, groupées en faisceaux plus ou moins volumineux, constituent les nerfs et la substance blanche des centres. — Les cellules n'existent que dans la substance grise des centres nerveux.

Les racines des nerfs n'ont pas de relation de continuité avec les fibres de la substance blanche des centres; elles traversent cette substance blanche, n'ont que des rapports de contact avec ses fibres, et s'épuisent dans la substance grise.

La neurilité est l'activité propre de la fibre nerveuse, la même partout, dans les nerfs dits sensitifs, dans les nerfs dits moteurs et dans les faisceaux fibreux de la moelle épinière et de l'encéphale. Cette

neurilité ne dépend que de l'intégrité de la texture et de la nutrition de la fibre nerveuse dont elle est l'attribut essentiel.

La cellule a aussi une activité propre, distincte de la neurilité de la fibre; cette activité de la cellule est aussi la même partout et intimement liée à l'intégrité de l'élément anatomique dont elle est l'attribut essentiel et indépendant.

La fibre nerveuse est expérimentalement excitable; la neurilité mise en jeu par une excitation mécanique, physique ou chimique, est propagée par les fibres dans tous les sens. — La cellule nerveuse peut aussi exercer une action directe sur la fibre nerveuse et mettre en jeu son activité propre.

Les excitations extérieures mécaniques, physiques ou chimiques, n'exercent aucune action sur la substance grise; l'activité de la cellule nerveuse entre en jeu sous l'influence de la neurilité de la fibre nerveuse.

Ces propositions ne sont que la traduction des résultats fournis par l'expérimentation la plus rigoureuse. Le physiologiste doit chercher, par tous les moyens possibles, à déterminer les lois de manifestation et les véritables origines de ces propriétés fondamentales, si différentes, de la fibre et de la cellule nerveuses. Continuons à interroger l'expérience; elle seule peut nous fournir des notions précises sur les réactions réciproques de la fibre blanche, de la

cellule grise et des divers éléments anatomiques des organes.

Partout, dans les nerfs de divers ordres et dans les diverses régions des centres nerveux, les activités propres de la fibre et de la cellule nerveuses restent les mêmes au fond ; mais les manifestations sensibles de ces activités, les fonctions de la substance blanche et de la substance grise, varient d'une région à l'autre suivant les connexions de la fibre et de la cellule entre elles et avec les organes de l'économie.

En raison des connexions de la substance grise avec les racines antérieures, motrices, des nerfs mixtes et les racines des nerfs moteurs, une excitation ne peut pas passer de ces racines à la substance grise ; au contraire, la substance grise peut transmettre une excitation à ces racines.

Les rapports physiologiques, et sans doute aussi les connexions anatomiques, de la substance grise avec les racines postérieures, sensitives, des nerfs mixtes et les racines des nerfs sensitifs sont inverses ; l'excitation peut passer de ces racines à la substance grise, mais ne peut pas se communiquer de la substance grise à ces racines.

Dès lors, une excitation portée sur un nerf ou une racine de mouvement ne peut déterminer aucune manifestation du côté des centres nerveux ; l'activité propre du nerf ne se révèle que du côté périphérique et par des contractions musculaires localisées.

L'excitation d'un nerf ou d'une racine de sentiment ne produit aucun effet appréciable du côté périphérique, mais elle se communique à la substance grise dont elle met en jeu l'activité propre. — Transmise vers l'encéphale, cette excitation de la substance grise détermine des manifestations de sensibilité. — L'excitation de la substance grise se propage aussi transversalement, se communique aux racines motrices et provoque des contractions musculaires ; dans ce dernier cas, la fonction de la substance grise prend le nom d'*excito-motricité*, et les manifestations de contraction musculaire sont étudiées sous la dénomination d'*actions réflexes*.

Naturellement, l'excitation d'un nerf mixte s'accompagne à la fois de manifestations du côté des centres nerveux et du côté du système musculaire. Le nerf mixte accomplit la double fonction de nerf de sentiment et de nerf de mouvement.

Si des nerfs nous passons aux faisceaux fibreux de la substance blanche des centres nerveux, nous verrons que leurs fonctions, c'est-à-dire les résultats de la mise en jeu de leur neurilité par un excitant quelconque, varient suivant la nature de leurs connexions avec la substance grise. Ainsi, les faisceaux antéro-latéraux de la moelle épinière se conduisent comme des racines antérieures, les faisceaux postérieurs comme des racines postérieures, les pédoncules du cerveau comme des nerfs mixtes, etc., etc.

En résumé, pour se rendre compte des fonctions si nombreuses, si variées, si importantes du système nerveux, il n'est pas nécessaire de recourir à l'intervention d'une force indépendante de la matière organisée. Ces fonctions sont les résultats de la mise en jeu de la neurilité, activité propre de la fibre nerveuse, et de l'activité propre de la cellule nerveuse; ces deux activités sont les attributs fondamentaux, essentiels de la fibre et de la cellule nerveuses, au même titre que la contractilité est l'attribut incontestable, et aujourd'hui incontesté, de la fibre musculaire.

Les activités propres de la fibre et de la cellule nerveuses ne doivent pas plus être confondues avec les manifestations électriques constatées dans le système nerveux, que la contractilité ne doit être assimilée au courant musculaire. Ces deux activités sont des modalités dynamiques spéciales comme sont spéciales la texture et la composition de la fibre et de la cellule dont elles sont les attributs; il nous reste à déterminer leurs rapports avec les grands agents du monde extérieur.

Le degré d'activité du système nerveux varie avec l'âge de l'animal, avec le rang qu'il occupe dans la série zoologique, avec une foule de conditions internes et externes dont il n'est pas de notre sujet de chercher à démêler le mode d'action. Nous devons nous contenter de rappeler les faits suivants : — La

persistance de l'excitabilité des nerfs après la mort est d'autant plus longue que l'animal est plus bas placé dans l'échelle zoologique; — il suffit de refroidir un animal supérieur avant de le sacrifier, pour que ses nerfs conservent leur excitabilité aussi longtemps que ceux des animaux inférieurs. — La vitesse de propagation d'une excitation dans les nerfs est aussi profondément influencée par la température extérieure; M. Helmholtz a constaté que, chez les grenouilles, cette vitesse de propagation, dans un nerf refroidi à *zéro*, n'est plus que la *dixième* partie de ce qu'elle est à 15 ou 20 degrés; M. du Bois-Reymond a observé des faits de même nature.—Cela dit, hâtons-nous de fixer notre attention sur les combustions respiratoires et la circulation considérées comme modificateurs de l'excitabilité des nerfs et des centres nerveux eux-mêmes.

Pendant les belles journées de printemps, alors que leur circulation est très-active et qu'ils consomment beaucoup d'oxygène, les animaux inférieurs, à température variable, sont vifs, alertes, répondent avec beaucoup d'énergie à toutes les excitations extérieures. Mais, à l'approche des froids, la respiration et la circulation s'alanguissent graduellement chez ces animaux dont les mouvements deviennent en même temps plus lents et plus difficiles, dont l'excitabilité diminue et devient fort obscure; finalement ces animaux tombent dans cet engourdissement profond

où ils passent l'hiver tout entier, état pendant lequel, par suite de la torpeur du système nerveux, les manifestations vitales les plus fondamentales, les plus essentielles sont à peine perceptibles.

C'est surtout, chez les mammifères hibernants, que les rapports de l'activité de la circulation et des combustions respiratoires avec l'excitabilité du système nerveux ont pu être bien étudiés. — Pendant le sommeil hibernal, la circulation continue, mais éprouve un ralentissement très-considérable ; il résulte des nombreuses observations de Saissy qu'en été, les pulsations du cœur s'élèvent, chez la marmotte, à 90 par minute, et tombent à 9 ou 10 par minute chez ces animaux engourdis. En même temps, le nombre des inspirations s'abaisse de 30 à 7 ou 8 par minute, et les combustions respiratoires subissent une dépression très-considérable. Il résulte, en effet, des expériences de M. V. Regnault, qu'une marmotte qui consommait, par kilogramme et par heure, 986 milligrammes d'oxygène dans l'état *de veille*, n'en consommait plus que 44 milligrammes dans l'état d'*engourdissement*.

D'autre part, tous les observateurs s'accordent pour dire que, pendant le sommeil hibernal, l'animal est presque complétement insensible à toutes les excitations extérieures ; on peut sans l'éveiller, sans même qu'il exécute aucun mouvement, le transporter d'un lieu à un autre, le rouler dans les mains et

contre terre, le laisser tomber d'un à deux mètres de hauteur. Mangili raconte qu'un coup de fusil, tiré dans une grotte, ne suffit pas pour interrompre le sommeil hibernal des chauves-souris suspendues à la voûte. L'excitabilité de ces animaux est réduite au *minimum*, mais elle n'est pas éteinte. — Prunelle a réveillé une marmotte en lui faisant respirer de l'ammoniaque. — Saissy et Mangili ont obtenu des signes évidents de sensibilité en employant des excitants mécaniques et chimiques. — L'irritabilité musculaire peut aussi être directement mise en jeu ; il suffit de dénuder un muscle et de l'irriter avec la pointe d'un scalpel pour le voir se contracter. De tous les moyens de réveiller l'irritabilité musculaire, l'électricité est le plus puissant; ajoutons enfin qu'en faisant passer un courant électrique intense à travers un nerf mixte, on peut obtenir à la fois des signes de douleur et des contractions musculaires.

Les phénomènes sont encore plus prononcés chez les hibernants qui, sous l'influence d'un froid trop intense et trop prolongé, sont tombés dans un état de *léthargie*. — Bien qu'ils puissent, quand on les réchauffe, reprendre leur vie habituelle, ces animaux hibernants, tant que dure la léthargie par le froid, ressemblent à des cadavres ; toutes les fonctions sont complétement et momentanément suspendues, il n'y a plus trace appréciable, ni de circulation, ni de respiration. En même temps, le système nerveux

a perdu toute excitabilité ; les excitants mécaniques, physiques, chimiques les plus énergiques, l'électricité elle-même, sont impuissants pour mettre en jeu l'activité propre des nerfs. — Dans cet état de *mort apparente*, l'irritabilité musculaire seule survit, comme elle persiste encore quelque temps après la *mort réelle*.

Quelle que soit l'importance des résultats fournis par l'étude de l'état d'hibernation ou de léthargie par le froid, la science possède des preuves bien plus directes et plus démonstratives de l'influence de la circulation sur l'activité du système nerveux. L'expérience démontre en effet que, chez tous les animaux, les centres nerveux, comme les muscles, perdent toute leur excitabilité du moment où ils cessent de recevoir du sang artériel. — Si, à l'exemple de Sténon, on interrompt la circulation dans le train postérieur et dans la partie postérieure de la moelle épinière, en liant l'aorte en avant des artères rénales, l'animal se tient d'abord dans une attitude normale, marche en se servant des *quatre* membres ; mais bientôt le train postérieur est complétement paralysé du mouvement et du sentiment ; l'animal marche avec ses membres antérieurs seulement, traînant après lui ses membres postérieurs inertes ; l'irritation de la queue et des extrémités digitales ne provoque plus ni douleur, ni mouvements réflexes. Dans la région où elle a cessé de recevoir du

sang artériel, la substance grise de la moelle a donc perdu son excitabilité. Il suffit alors d'enlever la ligature de l'aorte pour rendre, en quelques minutes, aux nerfs et aux muscles des membres postérieurs leur excitabilité et leur motilité volontaire. La substance grise de la moelle recouvre donc toutes ses propriétés du moment où l'afflux du sang artériel recommence.

M. Flourens, en injectant de la poudre de lycopode dans les artères crurales de la périphérie vers le cœur, est parvenu à intercepter complétement le cours du sang dans la partie postérieure de la moelle épinière. A la suite de cette opération, le mouvement *volontaire* disparaît dans les membres postérieurs ; une excitation portée sur le nerf sciatique ne cause aucune *douleur*, mais détermine la contraction des muscles auxquels le nerf se distribue. La moelle, qui a cessé de recevoir du sang artériel, perd son excitabilité, mais le nerf sciatique et les muscles dont la circulation est restée intacte ont conservé leurs propriétés fondamentales.

M. Brown-Séquard a procédé autrement ; il a expérimenté sur le train postérieur d'un mammifère *complétement séparé* du train antérieur. Il a attendu que l'excitabilité de la moelle épinière eût complétement disparu ; puis il a injecté dans l'aorte du sang oxygéné et défibriné. Sous l'influence de cette irrigation sanguine suffisamment prolongée, la sub-

stance grise de la moelle reprend toutes ses propriétés, l'irritation de la peau provoque des mouvements réflexes dans les membres postérieurs.

Le même mode d'expérimentation a été appliqué à l'étude de l'influence de la circulation sur les fonctions des masses encéphaliques. — Sur un lapin, Astley Cooper liait les deux carotides; puis il suspendait complétement l'afflux du sang artériel vers le cerveau en comprimant les artères vertébrales. L'animal tombait dans un état de profonde stupeur et de coma; presque aussitôt la respiration s'arrêtait complétement. Cet état de mort apparente se dissipait rapidement, et les fonctions cérébrales se rétablissaient dans leur intégrité, quand l'expérimentateur cessait de comprimer les artères vertébrales. — Après avoir lié les artères carotides et vertébrales, l'animal étant dans un état de mort apparente, M. Brown-Séquard a pu pratiquer pendant *dix-sept* minutes la respiration artificielle, et voir toutes les fonctions de l'économie se rétablir successivement et graduellement quand les quatre ligatures furent enlevées. — Dans une expérience de ce genre tentée sur un lapin, M. Vulpian a vu la compression des artères carotides et vertébrales déterminer la suspension des fonctions cérébrales. « Mais, chose bien remarquable, ajoute-t-il [1], la respiration spontanée

[1] *Leçons sur la Physiologie générale et composée du système nerveux*, page 455.

continuait, le bulbe rachidien ayant échappé plus ou moins complétement à l'anémie encéphalique. Les mouvements spontanés et réflexes avaient entièrement disparu dans la face et les yeux; *le tronc de l'animal vivait encore en supportant une tête physiologiquement morte.* » Au bout de *deux* ou *trois* minutes, tous les moyens de compression furent enlevés, la circulation se rétablit dans l'encéphale, les mouvements volontaires et provoqués reparurent dans la tête, l'animal recommença à marcher et revint bientôt à son état normal.

M. Vulpian a obtenu des résultats fort intéressants en opérant sur des grenouilles. Il a complétement suspendu la circulation artérielle en liant le cœur à l'origine des vaisseaux. Bien qu'il ne lance plus de sang dans le système artériel, le cœur continue à battre; l'excitabilité de la moelle se maintient un certain temps, et ne disparaît complétement qu'au bout de *deux* ou *trois heures*, suivant la saison et la force de l'animal. La grenouille apparaît alors comme un animal *mort*, dont le cœur, séparé du corps par une ligature, exécute encore de faibles mouvements; elle peut être conservée dans cet état *trois* ou *quatre* heures encore après que la moelle a perdu toute son excitabilité. Si alors on enlève la ligature, le cœur continuant à battre, la circulation se rétablit; mais l'état d'inactivité complète persiste encore quelque temps dans le reste de l'économie. Au bout d'une

demi-heure, les mouvements respiratoires spontanés se montrent d'abord rares, irréguliers, puis plus fréquents et avec leur rhythme normal. C'est seulement environ deux heures après, que la moelle reprend son excitabilité et que l'irritation de la peau provoque des mouvements réflexes; enfin les mouvements volontaires se rétablissent, et, graduellement, l'animal recouvre la plénitude de ses fonctions.

Dans son beau mémoire *sur le Principe de la vie*, Legallois, dès 1812, avait parfaitement compris et démontré expérimentalement cette influence de la circulation sur les fonctions des centres nerveux et, en particulier, de la moelle épinière.

« La vie, dit-il[1], est due à une impression du « sang artériel sur le cerveau et la moelle épinière, « ou à un principe résultant de cette impression. « Cette impression une fois produite, le principe « une fois formé, a toujours une durée quelconque, « mais variable, suivant l'âge et l'espèce des ani- « maux.... La prolongation de la vie dépend du renou- « vellement continuel de cette impression, à peu près « comme un corps, mû en vertu d'une première im- « pulsion, ne peut continuer de se mouvoir indéfi- « niment qu'autant que la même impulsion est « répétée par intervalles... C'est cette impression,

[1] *Œuvres* de Legallois, tome I, page 141.

« c'est ce principe formé dans le cerveau et la moelle « épinière qui, sous le nom de *puissance nerveuse*, « et par l'intermédiaire des nerfs, anime tout le « reste du corps, et préside à toutes les fonctions. »

Dans une autre partie de son mémoire, Legallois rend compte d'une expérience fort remarquable dans laquelle, tous les vaisseaux du cou, l'aorte abdominale et la veine cave inférieure étant liés, il avait retranché la tête et tout le train postérieur, de manière à conserver la poitrine séparée du reste du corps ; il lui avait suffi alors de pratiquer méthodiquement l'insufflation pulmonaire pour *prolonger la vie* pendant quelque temps dans ce segment thoracique isolé. « La poitrine, dit-il [1], donne des signes « de vie. Les plus apparents de ces signes sont les « mouvements et la sensibilité que conservent les « pattes antérieures, et les petits mouvements de « torsion que fait le thorax quand on pince forte- « ment la peau, et surtout quand on touche l'extré- « mité postérieure de la moelle dorsale. » Cet habile expérimentateur résume alors, avec une grande netteté, les conséquences de ses propres recherches, indique, avec une précision bien remarquable, les résultats de la ligature des artères qui se distribuent à la tête, tentée vingt ans plus tard par A. Cooper ; il trace enfin le programme et prévoit, avec une merveilleuse certitude, l'issue d'une belle expérience

[1] *Loco citato*, page 150.

réalisée dans ces derniers temps par M. Brown-Séquard.

« Il est hors de doute, dit-il[1], que si les poumons « et le cœur pouvaient continuer leurs fonctions avec « tout autre tronçon, comme ils le font avec celui « de la poitrine, on pourrait de même y entretenir « la vie. Il est donc démontré, par une expérience « directe, que la moelle épinière d'un tronçon quel- « conque peut à la fois animer toutes les parties de « ce tronçon, et donner au cœur les forces dont il a « besoin pour y entretenir la circulation, et que si « l'on ne peut pas prolonger la vie dans un tronçon « pris à volonté, c'est uniquement la disposition « anatomique des organes qui s'y oppose. Mais si « l'on pouvait suppléer au cœur par une sorte d'in- « jection, et si en même temps on avait, pour fournir « à l'injection d'une manière continue, une provi- « sion de sang artériel, on parviendrait sans peine à « entretenir la vie indéfiniment dans quelque tron- « çon que ce soit; et par conséquent, *après la déca- « pitation, on l'entretiendrait dans la tête elle-même « avec toutes les fonctions qui sont propres au cer- « veau*. Non-seulement on pourrait *entretenir* la vie « de cette manière, soit *dans la tête*, soit dans toute « autre partie isolée du corps d'un animal, mais on « pourrait l'y *rappeler après son entière extinc- « tion*.... Si l'on répète une expérience déjà faite par

[1] *Loco citato*, page 131.

« Sténon et qui consiste à lier l'aorte sur la première « vertèbre lombaire, peu après le sentiment et le « mouvement disparaissent entièrement dans le « train de derrière, pendant que la circulation et la « vie continuent dans les parties antérieures. Mais « si, après avoir attendu un temps triple et même « quadruple de celui au bout duquel tous les signes « de vie ont disparu, on délie l'aorte, le sentiment « et le mouvement renaissent peu à peu dans les « parties mortes, à mesure que la circulation s'y « rétablit. De même, *en liant toutes les artères qui « vont à la tête, on réduirait cette partie à l'état « de mort;* et toutes les fonctions intellectuelles « propres à l'animal, sujet de l'expérience, seraient « non pas seulement affaiblies, troublées ou suspen- « dues comme dans l'asphyxie ou la syncope, mais « totalement anéanties, pendant que le reste du corps « serait bien vivant. *Ces mêmes fonctions renaî- « traient ensuite, après qu'on aurait délié les « artères.* On voit assez, sans que je m'arrête davan- « tage sur cette matière, pourquoi ces résurrections « partielles sont les seules qui soient au pouvoir du « physiologiste. »

Si A. Cowper a vérifié les prévisions de Legallois au sujet de la ligature des artères qui se distribuent à la tête, M. Brown-Séquard a réalisé de son côté l'expérience indiquée par Legallois sur la tête après décollation.

Sur un chien, M. Brown-Séquard sépare la tête du tronc ; il attend *huit* ou *dix* minutes, jusqu'à ce que, depuis quelques instants, le bulbe rachidien et le reste de l'encéphale aient bien évidemment perdu toute trace appréciable d'excitabilité ; puis il pratique des injections réitérées de sang défibriné et oxygéné à la fois dans les artères carotides et dans les vertébrales. Quelques mouvements désordonnés apparaissent au bout de *deux* ou *trois* minutes, puis les muscles des yeux et de la face exécutent des mouvements coordonnés, véritables manifestations de la vie, qui tendent à faire admettre que les fonctions cérébrales se sont rétablies dans cette tête complétement séparée du tronc. — Dans une expérience de cette nature pratiquée sur un chien *familier*, élevé dans son laboratoire, M. Brown-Séquard a observé un fait de la plus haute importance. Au moment où l'injection de sang défibriné et oxygéné avait ramené les manifestations de la vie, *il appela le chien par son nom... les yeux de cette tête séparée du tronc se tournèrent vers lui... comme si la voix du maître avait été entendue et reconnue.*

Comme les muscles, comme tous les organes de l'économie, le système nerveux est le siége d'un travail incessant d'assimilation et de désassimilation ; il se nourrit aux dépens du liquide sanguin qui lui fournit tous les matériaux nécessaires à son développement. Sans doute la science n'est pas encore par-

venue à pénétrer la nature des réactions chimiques qui se passent dans l'intimité du tissu nerveux ; on n'y a encore constaté expérimentalement ni une absorption d'oxygène, ni une exhalation d'acide carbonique. Mais le sang artériel pénètre, rutilant et riche en oxygène, dans le système nerveux, et le sang veineux en sort noirâtre et chargé d'acide carbonique ; ce fait, à lui seul, prouve d'une manière incontestable qu'à l'état de repos, les matériaux organiques du sang sont brûlés dans les capillaires des nerfs et des centres, comme dans le réseau vasculaire de tous les tissus de l'organisme.

Lorsque le système nerveux entre en action, l'observation démontre que les combustions internes acquièrent un plus haut degré d'intensité. — A l'état de repos, la réaction chimique des nerfs est *neutre ;* les expériences de O. Funke ont établi que, dans le nerf fortement excité, cette réaction change de nature et devient manifestement *acide*. — Sous l'empire d'une forte excitation nerveuse longtemps soutenue, l'exhalation d'acide carbonique augmente et, d'après Davy[1] et Bærensprung, la température du corps éprouve une élévation appréciable ; ces deux faits sont la preuve incontestable d'une accélération des combustions internes. Et, du moment où la dépense organique est ainsi exagérée, on comprend facile-

[1] *Archives générales de médecine,* 1846, supplément.

ment pourquoi, dans ces conditions, le sentiment de la faim, accusant un besoin impérieux de réparation, se prononce en même temps qu'une véritable fatigue comparable à celle que détermine l'exercice musculaire. — « La chaleur, dit Burdach[1], augmente par l'effet de l'espérance, de la joie, de la colère et de toutes les passions excitantes. Martin a vu la température monter de 35°,5 à 37°,5 dans un violent accès de colère. »

Dans ces derniers temps, M. Byasson a repris l'étude de cette question de physiologie générale dans un travail d'une grande importance sur *les rapports qui existent entre l'activité du système nerveux et la composition des urines*[2]. Pendant neuf jours, il s'est soumis à un régime alimentaire régulier et déterminé, et a analysé avec soin ses urines. Ces neuf jours d'expérimentation se divisent en trois périodes de trois jours chacune.

Pendant la première période, il s'est abstenu, autant que possible, de tout travail musculaire et cérébral ; c'est la période de repos.

Pendant la seconde période, ou période de travail musculaire, il a évité toute contention d'esprit et a exercé fortement son système musculaire.

[1] *Traité de Physiologie*, traduction de Jourdan, tome IX, page 645.

[2] *Essai sur la relation qui existe, à l'état physiologique, entre l'activité cérébrale et la composition des urines*. Thèses de la Faculté de médecine de Paris, 1868, n° 162.

Enfin, pendant la troisième période, ou période de travail cérébral, en même temps qu'il prenait le moins d'exercice possible, il s'est livré, avec ardeur et d'une manière soutenue, à l'étude de questions difficiles de physiologie et de mathématiques.

Les analyses très-exactes de M. Byasson prouvent que, le régime alimentaire restant identique, la quantité moyenne d'urée rendue en vingt-quatre heures a varié ainsi qu'il suit :

Pendant la période de repos.	20gr,46
Pendant la période de travail musculaire.	22, 90
Pendant la période de travail cérébral. .	23, 88

L'excitation du système nerveux rend donc la production d'urée plus abondante, et exerce sur les combustions internes le même genre d'influence que l'exercice musculaire.

Les résultats de ce travail de chimie biologique de M. Byasson déposent en faveur de l'exactitude des observations très-remarquables de M. le docteur J.-P. Lombard[1]. Ce jeune physiologiste s'est assuré que, indépendamment de toute modification de la circulation, sous l'influence d'un travail cérébral intense, d'une forte émotion et en général de toute cause attirant fortement l'attention, la température des masses encéphaliques s'élève. M. Lombard, dont

[1] *Archives de Physiologie normale et pathologique*, tome I, page 670.

le travail ne nous est encore connu que par un extrait, a employé un appareil thermo-électrique d'une extrême sensibilité ; la variation de température, mesurée sur le cuir chevelu, était surtout sensible sur l'occipital et ne dépassait pas un *vingtième* de degré centigrade.

Dans ces dernières années, M. Oscar Liebreich a fixé spécialement son attention sur le *protagon*, matière azotée et phosphorée, dont il a signalé l'existence dans la substance blanche des centres nerveux et dans tous les nerfs. Il a montré par des expériences directes tentées sur les animaux que, pendant l'état d'activité du système nerveux, la consommation de protagon est plus considérable que dans l'état de repos. A cet effet, il a expérimenté sur des chiens. Après avoir coupé toutes les racines nerveuses rachidiennes d'un seul côté, il a soumis ces animaux à des excitations assez considérables et assez prolongées pour les faire mourir de douleur. L'analyse comparative lui a démontré que du côté où les racines rachidiennes étaient restées intactes, c'est-à-dire du côté où le système nerveux avait réellement fonctionné pendant l'opération, les nerfs contenaient toujours beaucoup moins de protagon que du côté opposé[1]. M. Oscar

[1] D'après les recherches de M. Gobley, le protagon ne serait pas une substance définie, mais un mélange en proportions assez constantes de cérébrine, principe azoté, et de lécithine, principe phosphoré et non azoté. La lécithine existe en grande quantité dans le jaune d'œuf; M. Gobley l'a retrouvée dans les matières grasses du sang, du cer-

Liebreich a conclu avec raison de ces expériences que, dans le système nerveux comme dans le système musculaire, l'exaltation des combustions internes et l'augmentation de l'activité physiologique sont liées par des rapports intimes de solidarité.

Dès 1848, M. Helmholtz chercha à déterminer l'influence de l'excitation des nerfs sur leur température. Dans ses expériences, très-rigoureusement et très-ingénieusement instituées d'ailleurs, il opéra sur des nerfs de grenouille et prit toutes les précautions nécessaires pour se mettre à l'abri des perturbations causées par les variations d'activité de la circulation ; les résultats furent négatifs ou du moins très-peu probants. — Plus tard des recherches de même nature ont été entreprises par M. Œhl et par M. Valentin. D'une série d'expériences tentées sur des nerfs d'animaux supérieurs dont les connexions musculaires avaient été maintenues, M. Œhl a conclu que l'excitation produit constamment une élévation de la température du nerf, mais il ne s'est pas entouré d'assez de précautions pour mettre ses résultats à l'abri de toute contestation sérieuse. Nous n'en dirons pas autant de M. Valentin. Cet habile physiologiste a opéré, comme M. Helmholtz,

veau, des nerfs, de la bile, etc. Sous l'influence des acides, des alcalis, de la putréfaction, la lécithine se dédouble très-facilement en acides oléique, margarique, phospho-glycérique. Hâtons-nous d'ajouter que ces faits n'infirment en rien l'importance et la signification physiologique des expériences de M. Oscar Liebreich.

sur des nerfs de grenouille et, comme lui, il a su éliminer toutes les causes d'erreur. Ses expériences démontrent que la température d'un nerf soumis à une excitation quelconque est supérieure à celle du même nerf à l'état de repos.

Dans ces derniers temps, M. le professeur M. Schiff a publié[1] une série très-importante d'expériences de même nature tentées sur des nerfs de mammifères (rats blancs, lapins et chats). Ce n'est pas ici le lieu de décrire les procédés employés par cet habile physiologiste; son mémoire donne toutes les indications nécessaires pour montrer qu'il a su éviter toutes les causes d'erreur dans des recherches aussi délicates. La différence de température a été appréciée au moyen d'une petite pile thermo-électrique composée d'un barreau de bismuth replié en arc et soudé, par ses extrémités, à deux petits barreaux d'antimoine; le sens et l'intensité du courant électrique développé dans l'appareil étaient déterminés au moyen d'un galvanomètre à miroir. L'excitation des nerfs était produite tantôt par des courants d'induction, tantôt par des courants interrompus, tantôt enfin par des moyens mécaniques; dans tous les cas les effets de l'excitation ont été les mêmes.

Après avoir tué l'animal, M. Schiff enlevait le nerf

[1] Recherches sur l'échauffement des nerfs et des centres nerveux à la suite des irritations sensorielles et sensitives. In *Archives de physiologie normale et pathologique*, cahiers de mars et mai 1869.

sciatique et le plaçait sur les pôles de la pile thermo-électrique. S'il eût procédé ainsi, sans précautions préalables, évidemment toute observation aurait été impossible. Ce nerf, pris à une température assez élevée au moment de la mort de l'animal, aurait produit, en se refroidissant, dans le circuit thermo-électrique des courants irréguliers et d'une assez grande intensité pour déterminer des déviations et des oscillations considérables de l'aiguille du galvanomètre. Le nerf aurait perdu toute excitabilité avant que, suffisamment refroidi par le rayonnement, il eût pris une température uniforme et que l'aiguille du galvanomètre fût revenue fixe à *zéro*.

M. Schiff a très-simplement et très-habilement tourné cette difficulté en refroidissant les animaux, avant leur mort, jusqu'à la température ambiante ou jusqu'à un degré très-voisin de cette température. Dans ce but, il rasait les animaux, les recouvrait d'un vernis, et attendait le moment de l'agonie pour les sacrifier par la section du bulbe rachidien. — Dans quelques cas et surtout avec les lapins, il liait les animaux sur le dos, les membres étendus, et attendait le refroidissement complet. — Il a aussi obtenu le refroidissement en injectant sous la peau et dans la cavité péritonéale de fortes doses d'alcool. A la suite de l'injection, les animaux tombent dans le coma, se refroidissent graduellement et, en été, si l'opération est convenablement pratiquée, leur température s'a-

baisse presque jusqu'à celle du milieu ambiant. — L'injection sous la peau de doses modérées de curare et de conicine, combinée avec la respiration artificielle, lui a aussi donné de très-bons résultats.

Les nerfs pris chez ces animaux ainsi artificiellement refroidis avant la mort ont un double avantage : —d'une part, leur température différant peu de celle du milieu ambiant, le galvanomètre n'éprouve que de faibles perturbations quand on dépose ces nerfs sur la pile, et l'aiguille revient assez promptement au *zéro* de la graduation; — d'autre part, ces nerfs pris sur des animaux refroidis conservent très-longtemps leur excitabilité, et se prêtent merveilleusement à des expériences qui, en raison même de leur délicatesse, exigent un certain temps.

L'animal étant refroidi et sacrifié, M. Schiff excise une portion aussi longue que possible du sciatique, pratique sur sa continuité une ligature ou un écrasement linéaire, et place le nerf ainsi préparé sur la pile thermo-électrique, de manière que la ligature ou l'écrasement soit compris entre les deux soudures polaires; il attend que les perturbations produites dans le galvanomètre disparaissent et que l'aiguille aimantée reprenne sa position fixe sur le *zéro* de la graduation. Il excite alors une des extrémités du cordon nerveux; immédiatement l'aiguille du galvanomètre éprouve une déviation qui accuse un excès de température du côté de la soudure la plus rap-

prochée de l'extrémité excitée. Lorsque les oscillations de l'aiguille sont éteintes et qu'une nouvelle observation est possible, il excite de nouveau l'extrémité du nerf, et le résultat est le même ; la déviation accuse un excès de température du côté de la soudure la plus rapprochée du point excité. — Mais si l'on place une seconde ligature entre la pile et l'extrémité du nerf excité, l'excitation la plus violente ne produit plus aucun effet ; l'aiguille reste immobile, les deux soudures de la pile conservent la même température.

Dans une autre série d'expériences, M. Schiff a excisé les deux nerfs sciatiques sur le même animal. L'un des deux nerfs, complétement séparé des muscles qu'il animait, est préparé comme précédemment et placé sur la pile thermo-électrique; l'autre, dont les connexions musculaires sont conservées, est déposé sur un support voisin. Cela fait, il excite en même temps les deux nerfs. D'un côté, l'aiguille du galvanomètre éprouve une déviation qui accuse une élévation de température du côté de la soudure la plus rapprochée de l'extrémité excitée; de l'autre côté, l'excitation du nerf détermine une contraction musculaire. L'amplitude de l'oscillation de l'aiguille et l'intensité de la contraction s'affaiblissent en même temps, à mesure qu'on s'éloigne du moment où les deux nerfs ont été excisés. Enfin, il arrive un moment où le muscle ne se contracte plus et où nécessairement le

nerf a perdu toute son excitabilité ; si alors on répète l'excitation sur le nerf de la pile, même avec les courants induits les plus puissants, l'aiguille n'est nullement influencée, les deux soudures conservent la même température.

Il demeure donc établi que :

1° L'excitation de l'extrémité d'un nerf, sur lequel on a pratiqué une ligature ou un écrasement, détermine une différence de température entre les deux portions du cordon ; la portion située entre la ligature ou l'écrasement et l'extrémité excitée *s'échauffe*, et l'autre conserve sa température normale.

2° Cet effet dure tant que le nerf conserve son excitabilité, et disparaît en même temps que l'excitabilité du cordon nerveux.

Et, puisque l'excitation ne peut, en aucun cas, se propager au delà du point où l'on a pratiqué la ligature ou l'écrasement, les expériences de M. Schiff démontrent que : *lorsque l'activité propre d'un cordon nerveux est mise en jeu par une excitation quelconque, la propagation de cette excitation s'accompagne d'une élévation de température appréciable sur le trajet du nerf.*

D'ailleurs il résulte encore des observations de M. Schiff que l'élévation de température déterminée par la propagation de l'excitation, l'intensité de l'excitation produite et l'excitabilité du nerf en expérience varient dans le même sens.

M. Vulpian a établi qu'une excitation portée sur un point d'un nerf quelconque se propage à la fois dans les deux sens, vers la périphérie et vers les centres; les expériences de M. Schiff montrent que, quelle que soit la nature motrice ou sensitive du nerf, l'élévation de température déterminée par la propagation de l'excitation reste indépendante de l'extrémité du nerf que l'on excite.

Dans une troisième série d'expériences, M. Schiff a opéré sur des nerfs de grenouille dont l'extrémité périphérique restaient en connexion avec leurs muscles. Il a employé dans ce cas une pile thermo-électrique, composée de douze éléments de bismuth et de douze éléments d'antimoine, complétement enveloppée d'une épaisse couche de cire. Un sillon pratiqué dans le bloc de cire met à nu les douze soudures supérieures sur lesquelles le nerf est placé. — Quand l'égalité de température est rétablie entre les soudures supérieures et les inférieures et que l'aiguille du galvanomètre est fixe à *zéro*, M. Schiff excite le bout central du nerf; immédiatement, les muscles se contractent, et la déviation de l'aiguille du galvanomètre accuse un échauffement des soudures en contact avec le nerf le long duquel se propage l'excitation. Mais, au bout d'un certain temps, le nerf perd toute son excitabilité, et l'on en est averti par ce fait que l'excitation de son extrémité libre ne s'accompagne plus d'une contraction musculaire; à partir

de ce moment, l'excitation du nerf, quelque puissante qu'elle soit, ne détermine plus aucune variation de température sur le trajet du nerf; les soudures supérieures et inférieures restent en équilibre de température, et l'aiguille du galvanomètre demeure immobile sur le *zéro* de la graduation.

Les expériences de M. Schiff s'accordent donc avec celles de M. Valentin pour démontrer que l'activité de la fibre nerveuse est traduite par un signe extérieur saisissable; comme la fibre musculaire qui se contracte, la fibre nerveuse, soumise à une excitation directe ou propageant une excitation communiquée, s'échauffe d'une manière appréciable. Du côté du système nerveux, comme du côté du système musculaire, cette élévation momentanée de température ne peut être et n'est en réalité que le résultat d'un accroissement momentané aussi de l'intensité des combustions internes. Ces combustions montrent que, l'action locale de l'agent excitant restant la la même : d'une part, l'élévation de température s'arrête là où la propagation de l'excitation est elle-même arrêtée par une ligature ou un écrasement; d'autre part, toute élévation de température cesse lorsque le nerf a perdu son excitabilité. — En présence de ces faits, comment ne pas reconnaître que la neurilité et la contractilité musculaire ont avec la chaleur des rapports du même ordre?

Les faits observés par M. Biasson et par M. Lié-

breich prouvent jusqu'à l'évidence que l'activité du système nerveux et l'intensité des combustions effectuées dans son réseau capillaire suivent une marche parallèle, augmentent et diminuent ensemble. De leur côté, M. Valentin, M. Schiff et M. Lombard ont démontré expérimentalement que, dans le système nerveux, comme dans le système musculaire, toute augmentation d'activité s'accompagne de la production d'une certaine quantité de chaleur. Enfin, l'étude des animaux inférieurs et des animaux hibernants, et surtout les expériences si remarquables de Sténon, de Legallois, d'Astley Cooper, de Flourens, de M. Vulpian et de M. Brown-Séquard démontrent qu'il suffit de ralentir ou d'arrêter, par un moyen quelconque, l'afflux du sang artériel, pour affaiblir ou même éteindre complétement l'excitabilité des centres nerveux.— Sans doute la fibre et la cellule nerveuses, dont la composition et la texture sont spéciales, sont douées d'activités spéciales, *autonomes*, distinctes par la forme des autres activités de la matière organisée et de la matière inorganique. Mais les résultats de l'observation nous autorisent à conclure que les activités propres de ces deux éléments histologiques fondamentaux du système nerveux et les réactions chimiques accomplies dans la profondeur des tissus se maintiennent toujours dans des rapports de solidarité très-étroite.

En réalité, les rapports des activités du système

nerveux et de l'activité du système musculaire avec les combustions internes sont les mêmes. Mais il existe, entre les manifestations de ces activités, une différence essentielle, fondamentale. — Tandis que l'action des muscles est *toute extérieure*, se réduit à une pression, à une traction, à un soulèvement de poids, ou à une communication de vitesse, l'action du système nerveux ne se traduit par aucun phénomène extérieur, s'épuise *tout entière à l'intérieur* de l'économie, se réduit à une intervention dans les fonctions des organes qu'il anime. D'où la nécessité, après avoir considéré le système nerveux en lui-même, de l'étudier dans ses rapports avec l'économie tout entière[1].

Chez les animaux supérieurs, l'action nerveuse joue un rôle important dans l'accomplissement de toutes les fonctions. Évidemment, ce n'est pas le système nerveux qui sécrète la bile dans le foie, le suc gastrique dans l'estomac, le lait dans la glande mammaire, qui dans le rein sépare l'urée du liquide sanguin, qui dans les voies digestives détermine le passage des matériaux élaborés à travers la muqueuse intestinale, qui dans le réseau des capillaires généraux brûle les éléments organiques du sang, etc., etc., etc. Nulle

[1] Dans cette étude des rapports des activités du système nerveux avec les réactions physico-chimiques de la nutrition, nous n'avons pas abordé la question des *manifestations psychiques;* nous avons indiqué, dans notre préface, les raisons de cette abstention.

part il n'exerce une action *directe* sur les matériaux de l'économie; mais son influence est partout nécessaire pour que les fonctions s'accomplissent d'une manière normale et régulière.

Dans un organe dont toutes les communications avec les centres nerveux sont supprimées, l'intensité des combustions intérieures subit une notable dépression, la nutrition s'alanguit, mais en définitive la partie ainsi soustraite à l'action nerveuse ne meurt pas. C'est qu'en réalité, les phénomènes de nutrition sont du même ordre dans toute l'étendue du règne organique, chez les animaux et chez les végétaux, et par cela même sont, au fond, indépendants du système nerveux. Dans l'acte de la nutrition, le système nerveux, dont l'influence est considérable et incontestable, n'intervient donc pas à titre de modificateur *direct* des substances alimentaires; mais il crée, dans la trame des tissus, des conditions favorables aux mutations des matériaux organiques du sang.

L'observation de tous les jours démontre que la vue des aliments et l'action d'une substance sapide sur les nerfs de la langue suffisent pour activer la sécrétion salivaire. Les recherches des physiologistes et surtout celles de M. C. Bernard, ont prouvé qu'en agissant directement sur le système nerveux, on peut à volonté augmenter ou diminuer la quantité de salive excrétée dans un temps donné. En blessant un point déterminé de la moelle allongée, M. C. Bernard

est parvenu à modifier la sécrétion urinaire et à rendre artificiellement un animal diabétique. Le système nerveux exerce donc une très-grande influence sur les fonctions des organes sécréteurs. Cependant, l'observation ne permet aucun doute à ce sujet, il s'opère des sécrétions chez les animaux qui, comme les Polypes d'eau douce et les Rhizopodes, sont complétement dépourvus de système nerveux; d'autre part, on rencontre chez les végétaux des organes sécréteurs qui ont une grande ressemblance avec ceux des animaux. En réalité, toute sécrétion nous apparaît comme un fait de nutrition intime. Nous devons enfin considérer les propriétés des éléments actifs des glandes comme indépendantes, au fond, du système nerveux dont le rôle se borne à modifier les conditions au milieu desquelles fonctionnent les éléments glandulaires, de manière à favoriser ou à contrarier leur action sur le liquide sanguin.

Nous avons déjà établi que la *contractilité* est *l'activité propre* de la fibre musculaire, complétement indépendante de l'action nerveuse. Quand ils interviennent dans la contraction musculaire, les nerfs jouent donc le rôle de simples transmetteurs des excitations internes ou externes, et nous devons nous demander si l'influence de la fibre nerveuse sur la fibre musculaire est le résultat d'une action *directe* ou *indirecte*.

La texture du système musculaire a été étudiée,

dans ces derniers temps, par des micrographes d'une très-grande autorité; leurs recherches ont établi un fait d'histologie d'une haute importance. On a vu à l'aide du microscope, et cette observation a été vérifiée par M. Vulpian, des fibres musculaires se contracter bien qu'elles ne fussent en rapport avec aucune fibre nerveuse. De son côté, M. Rouget a constaté que toutes les fibres musculaires ne reçoivent pas de fibres nerveuses. Ajoutons enfin que les fibres musculaires, en rapport immédiat avec des tubes nerveux par l'intermédiaire des plaques motrices terminales, ne sont réellement en connexion avec ces plaques que par une faible étendue de leur longueur. Si l'influence du système nerveux était *directe*, il serait bien difficile de comprendre comment, à propos d'une excitation portée sur le tronc nerveux, la contractilité peut être mise en jeu dans les fibres dépourvues de tout tube nerveux et dans les parties des fibres placées en dehors des plaques terminales.

Après avoir démontré que le système nerveux est excité par des flux d'électricité trop faibles pour agir sur un galvanomètre ordinaire, M. Matteucci[1] a déterminé avec soin la durée-*minimum* du passage du courant électrique à travers un nerf moteur, nécessaire pour faire contracter le muscle auquel il se dis-

[1] *Letture sul l'elettro-physiologia*. Milano, 1867, page 35.

tribue. Le muscle fraîchement détaché étant fixé à un dynamomètre, il a soumis son nerf moteur à l'action du courant électrique réduit à son *minimum* suffisant d'*intensité* et de *durée*, et il a mesuré le travail mécanique effectué par le muscle en contraction. — D'une part, la dissolution du zinc dans le couple voltaïque pendant le passage du courant excitateur lui permettait d'évaluer, en unités de chaleur, la force dépensée pour mettre en jeu l'action nerveuse ; d'autre part, le travail mécanique, produit pendant la contraction musculaire, transformé en unités de chaleur, fournissait l'évaluation de la force développée par le muscle sous l'influence de l'action nerveuse. — Or évidemment, si l'action du système nerveux sur le système musculaire était *directe*, le nerf ne pouvant en réalité transmettre à la fibre musculaire que la force développée par le courant voltaïque pendant l'excitation et la force développée par le muscle ne pouvant, en aucun cas, être supérieure à celle que le nerf lui aurait *directement* transmise, il devrait y avoir *équivalence* entre le travail mécanique accusé par le dynamomètre et le travail chimique consommé dans le couple pendant le passage du courant à travers le nerf, entre le travail *produit* et le travail *moteur*. Or il résulte des mesures de M. Matteucci que le travail mécanique effectué par le muscle pendant sa contraction est égal à 30000 fois le travail dépensé pour produire l'excitation du nerf.

Les résultats fournis par l'électro-physiologie s'accordent donc avec les indications de l'histologie pour établir que, dans les muscles comme dans les glandes, comme dans tous les tissus, le système nerveux n'exerce sur les éléments anatomiques qu'une action *indirecte*. Dans le muscle en particulier, l'excitation nerveuse, au lieu de se transmettre directement à la fibre contractile, modifie les conditions ambiantes de manière à accroître l'intensité des combustions internes ; et c'est en définitive la chaleur développée par ces combustions exagérées qui est utilisée par le muscle pour opérer sa contraction. Suivant l'expression de M. Matteucci, l'action nerveuse joue là le rôle d'une petite étincelle tombant sur une masse de matière inflammable, elle donne simplement l'impulsion aux phénomènes de combustion ; une fois commencée, l'action de l'oxygène sur les matériaux du sang continue et produit des effets hors de proportion avec la dépense primitive de force impulsive. — L'étude du sang dans les veines des muscles fournit des preuves décisives en faveur de cette manière de comprendre le rôle du système nerveux dans la contraction musculaire. Supposons, en effet, qu'on supprime l'action nerveuse dans un muscle en divisant le tronc du nerf mixte qui s'y distribue; immédiatement les combustions s'alanguissent dans les vaisseaux capillaires, le sang des veines perd sa couleur caractéristique, devient rougeâtre et ne contient plus

qu'une très-faible proportion d'acide carbonique. Mais du moment où l'on rétablit l'action nerveuse dans le muscle en excitant, par un moyen quelconque, le bout périphérique du nerf divisé, le sang veineux reprend sa couleur, la proportion d'acide carbonique augmente, les combustions internes reprennent toute leur intensité dans le réseau capillaire.

En résumé, le système nerveux intervient d'une manière évidente dans tous les actes de l'économie; les sécrétions, les contractions musculaires, le travail de la nutrition, tout s'accomplit sous son influence; mais partout et toujours son influence est *indirecte*, les activités propres des éléments histologiques sont, au fond, indépendantes de son action. Pour remplir ce rôle important de régulateur, pour coordonner tous les actes de l'organisme vers un même but, la nutrition et le développement de l'être, il ne s'adresse pas directement aux activités des éléments histologiques, il se contente de modifier les conditions d'exercice de ces activités. Précédée par une action physico-chimique accomplie dans la trame des centres et des cordons nerveux, aboutissant à une modification de conditions physico-chimiques et, par suite, à un travail purement physico-chimique, l'activité nerveuse nous apparaît comme une propriété spéciale d'éléments histologiques spéciaux, eux-mêmes, par leur composition et leur structure.

Mais cette activité spéciale des éléments nerveux

dérive évidemment de la réaction physico-chimique qui la précède. Dans les organes dont il règle la fonction, le nerf ne fait qu'utiliser la force que lui fournit cette réaction physico-chimique. L'activité nerveuse n'est qu'un agent de transformation ; par son intermédiaire, le travail physico-chimique accompli dans la trame du tissu nerveux est transformé en cet autre travail, physico-chimique aussi, au moyen duquel les nerfs interviennent par leurs extrémités périphériques, ici dans les sécrétions, là dans les contractions musculaires, partout dans les actes de nutrition.

Considéré comme moteur, le système musculaire a été comparé à une machine à feu ; une analogie du même ordre peut être signalée entre un réseau télégraphique et le système nerveux. — Dans le réseau télégraphique, le travail chimique effectué dans la pile du poste expéditeur, transformé en électricité et recueilli sur les fils conducteurs, se propage de proche en proche et va à l'autre extrémité de la ligne animer un électro-aimant, dévier une aiguille aimantée, produire une décomposition chimique, mettre en jeu les appareils récepteurs quelle que soit leur nature. — Dans le système nerveux, le travail de combustion accompli dans les centres se transforme en neurilité ; les divers cordons nerveux recueillent cette neurilité, la propagent dans tous les sens et vont exalter l'activité des divers organes de l'économie.

Ainsi se trouve pleinement justifiée une des vues physiologiques les plus profondes que le génie de Lavoisier ait introduite dans la science. Après avoir mesuré l'intensité des combustions respiratoires dans des conditions physiologiques déterminées, chez l'homme à jeun et pendant la digestion, dans l'état de repos et pendant un travail musculaire considérable, etc., le créateur de la chimie moderne s'exprime ainsi dans son beau mémoire de 1789, *Sur la respiration des animaux :*

« Ce genre d'observation conduit à comparer des emplois de force entre lesquels il semble n'exister aucun rapport. On peut connaître, par exemple, à combien de livres, en poids, répondent les efforts d'un homme qui récite un discours, d'un musicien qui joue d'un instrument. On pourrait même évaluer ce qu'il y a de mécanique dans le travail du philosophe qui réfléchit, de l'homme de lettres qui écrit, du musicien qui compose. Ces efforts, considérés comme purement moraux, ont quelque chose de physique et de matériel qui permet, sous ce rapport, de les comparer à ceux que fait l'homme de peine. Ce n'est donc pas sans quelque justesse que la langue française a confondu sous la dénomination commune de *travail*, les efforts de l'esprit comme ceux du corps ; le travail du cabinet et le travail du mercenaire[1]. »

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1789, page 577.

Nous avons reconnu, dans l'animal, l'existence de trois grandes manifestations dynamiques, la production de chaleur, la contraction musculaire, l'action nerveuse. Sans sortir un instant du cercle de l'observation la plus rigoureuse, sans invoquer d'autre appui que celui des faits sévèrement contrôlés et définitivement acquis à la science, nous avons établi que ces trois grandes modalités dynamiques, attributs essentiels de l'animalité, dérivent directement de l'action de l'oxygène de l'air sur les matériaux organiques du sang. La contractilité de la fibre musculaire, les activités propres de la cellule et de la fibre nerveuses, sont évidemment des modalités dynamiques spéciales, autonomes, qu'il n'est permis de confondre ni avec l'électricité, ni avec la chaleur, ni avec la lumière, etc. Mais, ne l'oublions jamais, ces activités sont des propriétés des fibres musculaires, des fibres et des cellules nerveuses, tirent leur spécialité de la spécialité de composition et de texture des éléments histologiques, siége et théâtre de leurs manifestations, ne diffèrent que par la forme des modalités dynamiques du monde extérieur et sont reliées aux agents cosmiques dont elles dérivent par la grande loi de la transformation des forces par voie d'équivalence.

Ces principes déduits de l'étude du système musculaire et du système nerveux sont généraux et applicables à tous les tissus de l'économie. Le fait

n'est pas contestable, chaque élément histologique vit d'une vie propre et jusqu'à un certain point indépendante, se nourrit et se développe aux dépens des matériaux du sang. Tout élément histologique dont la composition et la texture sont spéciales, jouit nécessairement d'une activité propre, spéciale qui dérive des combustions internes, au même titre que les activités de la fibre musculaire, de la fibre et de la cellule nerveuses. Dans le monde inorganique, il nous a suffi (p. 67) de changer la nature et la disposition des pièces du support pour voir une même action chimique, le travail de dissolution du zinc dans l'acide sulfurique, se transformer tour à tour en électricité, en chaleur, en lumière, en magnétisme, en travail chimique, en travail mécanique, et, sous ces formes si diverses, conserver intégralement son énergie première. Il n'y a donc pas lieu de s'étonner que, dans l'agrégat organisé, les éléments anatomiques, si différents par leur composition et par leur texture, tirent leurs activités spéciales d'une seule et même source, la combustion des matériaux organiques dans les profondeurs de l'économie.

Par l'observation et par l'expérience, par l'étude assidue de l'animal dans l'état de santé et dans l'état de maladie, le physiologiste, armé de tous les moyens d'investigation dont la science s'enrichit tous les jours, doit chercher à déterminer les lois de manifestation de ces activités spéciales, les effets produits

par leur action isolée, les résultats de leur conflit et de leur association, en même temps que leurs rapports de filiation avec les réactions physico-chimiques accomplies dans l'intérieur de l'économie. Ainsi seulement il peut s'élever à la connaissance des *fonctions* qui ne sont, en réalité, que les résultantes des activités propres des éléments histologiques des organes. De ce point de vue, le seul vrai, le seul acceptable, la physiologie ne nous apparaît plus comme une science isolée et devant tout tirer de son propre fonds ; sans rien perdre de son *autonomie*, elle contracte avec les autres sciences des rapports d'intime solidarité.

L'action de l'oxygène sur les matériaux du sang est donc la seule source de force dont l'animal puisse disposer. Pour accomplir tout le travail intérieur et extérieur nécessaire à la nutrition et au développement de l'individu, à la propagation de l'espèce et à son action sur le monde ambiant, l'animal puise la force dépensée dans le conflit de l'oxygène emprunté à l'air et des substances alimentaires. Mais en reprenant leurs formes minérales primitives sous l'influence de l'action comburante de l'oxygène, ces substances alimentaires ne peuvent reproduire et mettre à la disposition de l'animal que leur énergie potentielle, c'est-à-dire la quantité de force empruntée par le végétal à la radiation solaire pour faire passer la matière minérale à l'état de

matière organique. C'est uniquement la force empruntée par le végétal à la radiation solaire, fixée dans la matière organique et rendue libre par la combustion des substances alimentaires, que l'animal utilise pour se mouvoir à la surface du sol, poursuivre sa proie, échapper aux atteintes de son ennemi, creuser la terre, soulever ou traîner un fardeau, etc.

Si nous embrassons le règne organisé dans une vue d'ensemble, nous acquérons la conviction que, d'un bout de l'échelle à l'autre, tout se tient, tout s'enchaîne, tout est solidaire. Au biologiste placé au point de vue de la nutrition et du développement de l'être, la *Vie* à la surface du globe apparaît essentiellement caractérisée par une double circulation incessante : circulation de matière, circulation de force.

La terre et l'air constituent un vaste réservoir de matière, dans lequel le végétal puise incessamment par ses racines et par ses feuilles. Saisie, absorbée à l'état minéral, la matière se modifie dans les plantes, contracte de nouvelles combinaisons et passe à l'état organique. A leur tour, ces substances organiques, fabriquées de toutes pièces par les plantes, deviennent des aliments pour l'animal, qui s'en empare, les modifie, les absorbe, se les assimile, les brûle dans la trame de ses capillaires généraux, et finalement les restitue en totalité au monde extérieur, sous leurs formes minérales primitives.

Dans notre système planétaire, le soleil joue le rôle d'un immense réservoir de force. A la surface de la terre, ses rayons n'interviennent pas seulement comme source de chaleur ; ils agissent aussi par leurs propriétés chimiques. La plante emprunte à la radiation solaire toute la force nécessaire pour accomplir le travail intérieur de transformation de la matière minérale en matière organique. Cette force vive, utilisée par le végétal, n'est pas détruite ; transformée en affinité pour l'oxygène, elle communique à la matière organisée son *énergie potentielle*. — Le voyageur emporté sur nos voies ferrées avec une vitesse de quinze lieues à l'heure, l'armateur dont les paquebots sillonnent les mers, l'ingénieur dont la puissante tarière ouvre, à travers les flancs du mont Cenis, une communication directe entre la France et l'Italie, l'industriel placé à la tête d'une grande usine, doivent toujours se rappeler qu'en brûlant de la houille sous la chaudière de la machine à feu, le chauffeur ne fait que transformer en chaleur et, par l'intermédiaire de la vapeur, en force mécanique disponible, la force vive empruntée à la radiation solaire par les immenses forêts dont, aux époques pré-historiques, la surface du globe était recouverte. — De même, le physiologiste ne doit jamais perdre de vue que, lorsqu'il brûle dans ses capillaires généraux les substances organiques dont il se nourrit, l'animal ne fait que transformer leur énergie potentielle en

chaleur qui, se transformant elle-même, communique aux éléments histologiques des organes de l'économie leurs activités spéciales, et devient ainsi la source de toute la force dont il dispose. Dans son action sur le monde extérieur, l'animal restitue cette chaleur tout entière au milieu ambiant, soit sous forme de chaleur sensible, soit sous forme de travail accompli.

Dans le cycle qu'il parcourt de sa naissance à sa mort, l'être organisé ne produit rien, ne détruit rien ; matière et force, tout lui vient de la terre, de l'air et du soleil ; il restitue tout au monde extérieur.

TROISIÈME SECTION

DE LA PRODUCTION SPONTANÉE

ET

DE LA FORCE VITALE

La matière organique est dans un état d'équilibre instable, qu'elle ne fait que traverser ; sous la triple influence de l'humidité, de la chaleur et de l'air, elle se désagrége et retourne à l'état minéral, forme primitive et véritable condition d'équilibre stable de toute matière à la surface de notre planète. — La recherche des origines de la matière organique nous a montré que son apparition sur notre globe a été retardée jusqu'au moment où ont été réalisées à sa surface les conditions favorables à l'action d'un agent spécial, capable d'engager les éléments minéraux dans de nouvelles combinaisons. Si nous avons trouvé l'agent dans la force vive de la radiation solaire, hâtons-nous d'ajouter que, jusqu'ici du moins, c'est

seulement dans un être vivant, dans le végétal, que nous avons trouvé réunies les conditions nécessaires à la mise en jeu de l'agent. La production de la matière organique aux dépens des éléments minéraux présupposerait donc son existence et même l'existence d'un organisme complet, capable d'entrer en échange avec le milieu ambiant.

Cependant les substances organiques ne sont, en fin de compte, que des combinaisons en proportions définies d'un petit nombre d'éléments minéraux bien connus. L'oxygène, le carbone, l'hydrogène, l'azote, le soufre, le phosphore, le fer : tels sont les corps simples qui, en s'unissant dans des proportions connues, forment tous les principes immédiats des végétaux et des animaux. Des combinaisons de cette nature sont le résultat de l'affinité s'exerçant entre éléments placés dans des conditions déterminées ; si nous savions réaliser ces conditions, évidemment l'affinité entrerait spontanément en jeu, et toutes les réactions nécessaires à la production des substances organiques s'accompliraient sous nos yeux. Mais, pour remplir les conditions nécessaires à ces réactions, il ne suffit pas d'avoir déterminé, par l'analyse la plus rigoureuse, les proportions (en poids) des éléments combinés, il faudrait encore connaître le mode suivant lequel ces éléments sont groupés dans les substances organiques. Malgré tous les efforts des chimistes de notre époque, la science ne pos-

sède encore que des notions fort incomplètes sur ce mode de groupement.

Malgré cette lacune regrettable dans nos connaissances sur la constitution intime des substances organiques, de nombreuses et importantes synthèses ont été réalisées. — Les *carbures d'hydrogène* peuvent être considérés comme formant la transition entre l'état minéral et l'état organique ; beaucoup de ces composés binaires ont été reproduits directement : l'acétylène, l'éthylène et ses homologues, la benzine et ses homologues, la naphtaline, l'anthracine, etc. — Les chimistes ont aussi opéré la synthèse d'une quantité considérable de composés oxygénés ternaires : des alcools, des aldéhydes, des acides, des éthers, des corps gras, le phénol et plusieurs de ses homologues, etc. — Quelques substances azotées ont été aussi reproduites par synthèse : le cyanogène et ses dérivés, l'urée, la taurine, le glycocolle et ses homologues, etc.

Malgré tant d'efforts et de si beaux résultats, les chimistes ne sont pas encore parvenus à reproduire les véritables substances *organisables*, les *albuminoïdes*, auxquelles sont empruntés les éléments fondamentaux de toute organisation. Mais ces matières albuminoïdes sont, comme tous les composés organiques, des combinaisons en proportions définies ; les forces chimiques suffisent donc pour les réaliser. De ce qu'on n'est pas parvenu jusqu'ici à

les reproduire, on n'est pas en droit de conclure que leur synthèse est *irréalisable*. Il y a de ce côté *impuissance actuelle* et *momentanée*, mais non *impossibilité absolue*. — Dans le monde minéral lui-même, il y a des limites que la puissance de la chimie n'a pas encore pu franchir ; sans doute on sait aujourd'hui fabriquer de toutes pièces certaines *pierres précieuses ;* le corindon incolore, le rubis oriental, la spinelle, la topaze orientale et celle du Brésil, etc. ; mais il en est d'autres telles que l'hyacinthe, le diamant cristallisé, le corindon coloré, le saphir, les émeraudes bleues et vertes, etc., dont la reproduction est demeurée jusqu'ici impossible. Personne ne doute pourtant que toutes ces pierres précieuses, comme tous les minerais naturels, ne soient le produit des seules forces chimiques agissant sur leurs éléments dans des conditions determinées. — Ce qui est vrai, incontestable pour les pierres précieuses, l'est également pour les substances albuminoïdes ; en présence des immenses progrès que la science fait tous les jours dans cette voie, il est permis d'affirmer que l'homme découvrira, dans un avenir qui n'est peut-être pas bien éloigné, les conditions à remplir pour faire la synthèse des matières azotées neutres.

Le proto-organisme le plus simple que nous puissions imaginer se réduit à une *cellule* entrant en échange avec le milieu ambiant ; ces échanges réciproques décèlent une *activité*, et cette activité est

la *vie* de la cellule. — Du moment où la chimie est impuissante à faire la synthèse de la matière albuminoïde, de la matière organisable, il est évident que la formation de toutes pièces d'une cellule organique avec des éléments minéraux est chose absolument impossible dans l'état actuel de la science.

Mais cette matière organisable, l'albumine, existe toute formée dans les végétaux et les animaux auxquels on peut l'emprunter. Il est donc permis de se poser sérieusement cette question depuis longtemps agitée dans la science : Est-il possible de créer, autour de l'albumine ou de toute autre substance azotée analogue, des conditions telles qu'un proto-organisme, une cellule *active*, se développe spontanément? — On n'obtiendrait sans doute ainsi qu'une solution *indirecte* de cette autre question plus générale : Un proto-organisme *actif*, c'est-à-dire *vivant*, peut-il prendre spontanément naissance au sein de la matière minérale? Mais le fait de l'apparition spontanée d'un tel organisme dans un milieu albumineux n'en aurait pas moins une très-grande importance ; et, comme la synthèse, jusqu'ici *irréalisée*, de l'albumine est à nos yeux *réalisable*, ce fait aurait pour nous la valeur d'une solution *directe* de la question de la production spontanée d'un organisme *actif*, prise dans son acception la plus large.

Au point où les discussions soutenues, dans ces derniers temps, par M. Pouchet et par M. Pasteur

ont amené la question de l'hétérogénie, une expérience probante et décisive nous paraît impossible à réaliser. L'atmosphère, dit-on, contient une quantité innombrable de germes de toute sorte toujours en mouvement, toujours prêts à se déposer sur les corps, et se développant nécessairement partout où ils rencontrent un support approprié et des conditions convenables de chaleur, d'humidité et de lumière. Bien que l'existence de ces germes voyageant dans l'atmosphère n'ait pas encore été *directement* démontrée, il est bien difficile de la contester sérieusement quand on se rappelle les faits bien observés de fécondation naturelle des plantes à très-grande distance, et une foule d'autres phénomènes qui attestent les migrations incessantes de corpuscules très-légers, sous l'influence des grands mouvements de l'air.

Pour se mettre à l'abri des objections que les panspermistes ne manqueraient pas de soulever, comme pour dissiper ses propres scrupules, l'expérimentateur doit donc commencer par détruire tous les germes qui *peuvent* adhérer aux parois des vases, des tubes et des bouchons de ses appareils ; il doit aussi veiller avec grand soin à ce que l'oxygène, dont l'intervention est nécessaire, ne puisse apporter aucun germe perturbateur. Voilà sans doute bien des difficultés, mais elles ne sont pas insurmontables ; les acides et le feu sont des moyens de destruc-

tion sur lequels on peut compter ; il est possible de rendre les fermetures assez exactes pour que tout accès d'air inutile soit empêché. — Mais le corps albumineux lui-même *peut* être imprégné de ces germes dont la destruction, pour être *certaine*, exige, dit-on, qu'on les expose à une température de 130° centigrades.

Voilà donc l'expérimentateur condamné à élever à 130° la température des liquides albumineux *après les avoir introduits dans les ballons de verre de ses appareils* [1]. Quand on se rappelle qu'à 130°, la force élastique de la vapeur d'eau est de 2 atmosphères 3/4 (2030,28 millimètres de mercure), on se demande si jamais réellement un liquide albumineux a été porté à cette température dans les ballons de verre fermés avec des bouchons de liége, que les hétérogénistes ont employés dans leurs recherches.

Mais admettons que le liquide albumineux ait pu être chauffé jusqu'à cette température de 130°, nécessaire à la destruction complète des germes. Les belles observations de M. Chevreul nous ont appris que, *préalablement desséchée à froid*, l'albumine peut supporter de très-hautes températures sans s'altérer et sans perdre ses propriétés fondamentales

[1] Il y a, en effet, absolue nécessité de chauffer le liquide dans l'appareil à expérience lui-même ; sans cela il faudrait le transvaser après l'avoir chauffé et comment éviter l'introduction de germes pendant le transvasement ?

qu'elle reprend du moment où on la redissout dans de l'eau. Mais nous savons aussi qu'il n'en est pas de même de l'albumine chauffée dans l'eau. La matière albumineuse *cuite dans l'eau*, et cuite à 130°, n'est donc plus de l'albumine, n'est plus cette substance *organisable* dont on se proposait d'étudier l'*organisation spontanée* sous la quadruple influence de l'oxygène, de la chaleur, de l'humidité et de la lumière.

Pour procéder avec rigueur, les hétérogénistes sont condamnés à attendre que la chimie ait réalisé la synthèse des substances azotées neutres; alors, mais alors seulement, ils pourront échapper à la condition fatale de chauffer à 130° la matière albumineuse, et mettre en présence dans un ballon de verre de la *matière organisable*, de l'*eau* et de l'*air chimiquement préparés* et par cela même ne *contenant à coup sûr aucune espèce de germe*. Jusque-là, la doctrine de la panspermie, dont il serait difficile de ne pas admettre la réalité, du moins dans une certaine mesure, rend illusoire toute expérience d'hétérogénie.

Si la question du développement spontané d'un proto-organisme actif n'appartient pas encore au domaine de la science expérimentale, nous pouvons la traiter d'un autre point de vue. La cellule organique est constituée par des substances chimiquement définies, groupées en éléments histologiques. — Nous n'hésitons pas à considérer la matière or-

ganisable comme pouvant être directement produite par les forces physiques et chimiques s'exerçant dans des conditions déterminées et encore inconnues, sur des éléments minéraux. Une fois la matière organique produite, nous ne comprenons pas pourquoi, sous l'influence de certaines conditions de milieu ambiant, ne pourrait pas s'effectuer un groupement des substances organiques en éléments histologiques et de ces éléments entre eux, d'où résulterait l'apparition spontanée d'un agrégat organique de forme et de texture déterminées. — Philosophiquement parlant, nous ne trouvons aucune raison plausible de ne pas admettre, comme *possible*, la formation d'un agrégat organique, d'une cellule, sous l'influence exclusive des forces mécaniques, physiques et chimiques du monde extérieur.

Une cellule ainsi formée peut-elle entrer en échange avec le milieu ambiant, peut-elle être active; en d'autres termes, cette cellule peut-elle *vivre*? La réponse à cette question dépend de la doctrine physiologique adoptée. — Pour les physiologistes qui, comme nous, ne voient dans l'activité d'un élément histologique qu'une manifestation spéciale des actions physico-chimiques accomplies en lui et autour de lui, et dans l'activité, la *vie*, d'un proto-organisme que la *résultante* de toutes les activités propres de ses éléments histologiques constituants, la réponse ne saurait être douteuse : oui cette

cellule, cet agrégat, ce proto-organisme formé sous l'influence des agents cosmiques sur la matière minérale préalablement transformée en substance organisable, doit entrer en activité, contracter avec le monde extérieur des rapports d'actions et de réactions réciproques, en un mot, *vivre et se développer*, s'il est placé dans des conditions appropriées de milieu, de chaleur, de lumière et d'humidité. — Une telle solution du problème ne saurait convenir à l'école physiologique qui considère la *vie* comme une force indépendante, totalement distincte des agents cosmiques par sa forme et par sa nature. Aux yeux des physiologistes de cette école, l'activité du proto-organisme le plus simple ne dérive pas uniquement de l'organisation elle-même et des conditions du milieu ambiant ; pour entrer en échange avec le monde extérieur, l'agrégat organique doit être animé par une force indépendante surajoutée.

Pour nous, la *vie est un résultat*, et nous avons dit : *Expérimentalement*, la production spontanée d'un proto-organisme *actif* n'est pas démontrée, mais *philosophiquement* une telle production ne nous paraît pas irrationnelle. — Conséquents avec leurs doctrines, les physiologistes qui voient dans la *vie*, une *cause*, une *force primordiale*, doivent affirmer qu'en aucune circonstance, les actions réciproques de la matière et des agents cosmiques ne peuvent aboutir à la production d'un proto-organisme

actif. — Fatalement et comme malgré nous, nous nous retrouvons donc en présence de cette question de physiologie générale : Les phénomènes de nutrition et de développement autorisent-ils à admettre, dans l'être vivant (végétal ou animal), l'existence d'un principe indépendant, d'une force primordiale, surajouté à l'agrégat organisé qui ne lui sert que de simple support ?

Dans le règne végétal, comme dans le règne animal, chaque élément histologique jouit d'une activité propre qui commande la nature des réactions réciproques de cet élément et du milieu ambiant. — On comprend facilement comment, en présence du développement d'un simple germe ou d'un être complet s'opérant toujours dans une direction déterminée, l'homme put d'abord admettre que ce travail s'effectue sous l'influence d'une *force unique* dont l'agrégat organisé est le simple support. Dès lors il dut considérer les activités propres des éléments histologiques comme des attributs de cette force se manifestant sur des supports spéciaux. Tout lui parut ainsi simplifié ; du moment, en effet, où ils étaient régis, commandés par une seule et même force, les travaux individuels de tous les éléments histologiques, quelle que fût leur différence de composition et de texture, devaient nécessairement s'accomplir dans

une même direction, converger harmoniquement vers un même but. — Ce n'était là évidemment qu'une conception abstraite, mais, selon l'expression si juste de Barthez, « l'esprit humain est porté « généralement à voir, comme ayant hors de lui une « existence réelle, le résultat des notions abstraites « qu'il produit. »

De là découla naturellement l'idée d'une barrière insurmontable élevée entre le règne minéral et le règne organique. — On admit, on proclama que, dans le monde minéral, tout phénomène dérive fatalement de l'action réciproque, du conflit de la matière et des agents cosmiques. — Mais, par contre, on crut devoir et pouvoir bannir du monde organique toute idée de fatalité; on rapporta les phénomènes de nutrition et de développement de l'être organisé à l'action d'une force directrice, indépendante des agents cosmiques, d'une archée, d'un principe vital subsistant par lui-même, capable de détermination, doué d'affections propres, surajouté à l'agrégat organisé, en lutte incessante avec les influences extérieures, commandant en autocrate à tous les actes accomplis dans l'organisme et les coordonnant invariablement dans une direction et vers une fin déterminées.

En ce qui concerne le monde minéral, un pas immense a été fait dans la voie du progrès et de la simplification; nous voyons disparaître, dit le R. P. Sec-

chi[1], « cette légion de fluides et de forces abstraites qui, à tout propos, étaient introduits pour expliquer chaque fait particulier. » Il n'est plus permis d'avoir le moindre doute à ce sujet, les agents cosmiques ne sont que des propriétés, des activités propres de la matière. « Toutes les forces de la nature, dit Helmholtz dans son *Optique physiologique*, sont des *actions exercées* par un corps sur un autre. » Dans l'introduction placée en tête de sa belle étude *de la conservation de la force*, Helmholtz a écrit une page bien remarquable sur cette grande question de la *force* et de la *matière*[2]. « La science, dit-il, considère les objets du monde extérieur, sous deux points de vue distincts. D'abord elle considère leur *existence*, à l'exclusion de toute action quelconque sur d'autres objets ou sur nos organes; alors elle les désigne sous le nom de *matière*. — L'existence de la matière est donc en elle-même sans activité; nous y reconnaissons la propriété de l'*étendue*, et la *quantité* ou *masse*, qui est éternellement invariable. Les différences qualitatives ne peuvent être attribuées à la matière en elle-même; car, dès qu'il s'agit de différentes matières, leurs différences résident dans leurs actions, c'est-à-dire dans leurs *forces*. La

[1] *L'Unité des forces physiques*. Édition originale française, Paris, 1869, page 691.

[2] *Mémoire sur la conservation de la force*. Traduction de M. Pérard. Paris, 1869, page 59.

matière en elle-même n'éprouve d'autre changement que celui de la position *dans l'espace*, c'est-à-dire le *mouvement*. — Mais rien dans la nature n'est sans activité. Nous n'avons la connaissance des objets que par leur influence sur nos organes. Les effets nous conduisent à la cause ou à l'agent. — Il s'ensuit que, pour appliquer la conception de la matière, il faut ajouter au premier point de vue, un second dont il a été fait abstraction jusqu'ici : c'est la faculté d'agir, ou la *force*. — Il est certain que les idées de matière et de force sont réellement inséparables. La matière pure serait indifférente à tout le reste du monde, puisqu'elle ne modifierait aucun objet voisin et n'affecterait pas non plus nos organes ; et si la force pure existait, elle ne serait que ce que nous avons déjà nommé matière. — C'est donc un contre-sens de considérer la matière comme réelle, et la force comme une simple conception ; la matière et la force sont plutôt deux attributs de la réalité, deux abstractions formées par le même procédé intellectuel. *Nous ne connaissons et ne pouvons connaître que la* MATIÈRE ACTIVE. »

Ces principes sont-ils d'un ordre assez élevé pour dominer la science tout entière ; doit-on au contraire ne les admettre qu'à titre de variétés de second ordre, applicables seulement aux phénomènes du monde minéral ? Désormais insoutenable dans le cercle des sciences mécaniques, physiques et chimi-

ques, l'idée de l'association d'une force indépendante et de la matière doit-elle, peut-elle, comme le veut l'école vitaliste, être conservée en biologie? L'expérience et l'observation rigoureuse des faits peuvent seules nous donner la solution de ce grand problème.

Même chez les animaux supérieurs, un organe dont toutes les connexions avec les centres nerveux sont détruits, continue à vivre, à se développer, pourvu que la circulation soit entretenue. Les éléments histologiques, dépouillés de leur principal moyen de participation à la vie d'ensemble, ne perdent donc pas pour cela la faculté d'agir sur les matériaux du sang, de se les assimiler; leurs activités physiologiques leur appartiennent en propre, ne leur sont pas seulement surajoutés.

Lorsqu'un chien est décapité, toute vie d'ensemble est désormais éteinte dans les deux tronçons séparés. La force unique, indépendante, hypothétiquement admise par les vitalistes pour animer ce chien avant l'opération, ne saurait être fractionnée. Si elle persiste, elle doit se localiser dans un des deux tronçons; si elle disparaît, tous ses attributs doivent disparaître avec elle, et, en même temps, doivent s'éteindre toutes les activités des éléments histologiques qui ne sont que les manifestations de ces attributs. — Et pourtant, dans chacun de ces deux tronçons, l'irritation de la peau produit des mouvements

réflexes ; l'activité de la cellule grise survit donc à la décapitation. Cette activité, accusée par des mouvements réflexes, subsiste un certain temps et ne disparaît pas simultanément dans toute l'étendue des centres nerveux. La faculté de mettre en jeu l'excito-motricité de la substance grise disparaît : d'abord dans la peau des membres antérieurs, puis successivement dans celle de la face, du tronc et enfin des membres postérieurs. — Alors que toutes les propriétés physiologiques de la substance grise sont éteintes, la neurilité, l'activité du nerf persiste encore ; l'excitation directe d'un cordon nerveux détermine des contractions dans les muscles auxquels il se distribue. — Enfin, alors même que tout a disparu du côté du système nerveux central et périphérique, l'irritabilité, l'activité propre de la fibre musculaire n'est pas éteinte ; sous l'influence d'une excitation directe le muscle se contracte.

Ainsi les manifestations vitales les plus caractéristiques, les plus fondamentales, subsistent, au même degré, dans les deux tronçons séparés, alors que la décollation a rendu impossible toute vie d'ensemble. L'expérience démontre, en outre, qu'on peut, à volonté, prolonger cette persistance de l'excitabilité des systèmes nerveux et musculaire, en refroidissant l'animal avant la décapitation. Mais alors que les deux tronçons ne répondent plus à aucune excitation, tout est-il fini ? n'est-il pas possible de rendre

leur excitabilité aux systèmes nerveux et musculaire? Les expériences de Legallois, d'Astley Cooper, de M. Brown-Séquard, nous ont appris qu'il suffit d'injecter dans les artères du sang chaud, oxygéné et défibriné, pour que cette tête et ce tronc redeviennent le siége de manifestations vitales évidentes. — Ces faits sont en contradiction flagrante avec l'hypothèse d'une force unique, indépendante, qui communiquerait à toutes les parties de l'organisme leur activité. Comment, en effet, comprendre que cette force unique puisse se manifester à la fois dans les deux tronçons séparés? En tout cas, comment admettre que cette force indépendante puisse être ramenée, par une simple injection de sang, dans ces organes qu'elle avait abandonnés? — Tout dépose en faveur de la thèse que nous défendons. Les éléments histologiques sont actifs par eux-mêmes; ils ne cessent de manifester leurs activités physiologiques que dans le cas où, par suite d'une altération de composition ou de texture, ou bien d'un arrêt de la circulation, ils ne peuvent plus entrer en conflit avec les matériaux combustibles et organisables du sang.

« La bonne méthode de philosopher, dit Barthez[1], « exige qu'on rapporte à un seul *principe de vie* les « forces vivantes qui résident dans chaque organe, « et qui en produisent les fonctions, tant générales

[1] *Nouveaux éléments de la science de l'homme.* 2e édition, page 20.

« que particulières. » Et plus loin : « Les affections « du *principe vital*, qui produisent et renouvellent « dans un ordre constant les fonctions nécessaires « à la vie, sont absolument différentes de causes « productives des mouvements qui ont lieu dans la « nature morte, comme sont ceux que déterminent « les opérations de la chimie. »

Cette opposition, que Barthez signale entre les agents du monde inorganique et son principe vital, indique évidemment que, dans sa pensée, les mouvements déterminés dans l'organisme par ce principe vital sont coordonnés dans un but d'utilité. En ce point encore, l'expérience est venue donner un démenti formel à la doctrine vitaliste.—Lorsqu'un nerf moteur ou sensitif est coupé en travers, le bout périphérique éprouve d'abord la dégénérescence atrophique, puis se régénère histologiquement et physiologiquement, bien qu'il soit maintenu séparé des centres et ne puisse plus remplir aucune fonction. — Un fragment de cordon nerveux, enlevé de sa position normale et placé sous la peau d'un animal, contracte des rapports avec les parties voisines et passe par les mêmes phases d'atrophie et de restauration autogénique. — La face profonde d'un lambeau de périoste transplanté devient le siége d'un travail de véritable ossification. — M. Bert coupe la patte incomplétement développée d'un jeune rat, la dépouille de sa peau et l'introduit sous la peau d'un autre rat. Cette

patte se greffe, vit de sa vie propre, se nourrit, se développe. Au moment de la transplantation, elle était en voie de formation : les épiphyses n'étaient pas encore soudées aux diaphyses. Au bout d'un certain temps, l'ossification est complète, le squelette osseux de cette patte a parcouru toutes les phases de son développement normal.

Tous les jours la science expérimentale s'enrichit de nouveaux faits de ce genre. Or, nous le demandons, où est le but d'utilité du travail de restauration et de développement de ces organes qui ne peuvent plus accomplir aucune fonction? Si les éléments histologiques ne sont pas actifs par eux-mêmes, d'où peut leur venir, dans le cas de transplantation d'un animal à l'autre, la faculté de s'assimiler les matériaux du sang, de se nourrir; ont-ils emporté avec eux une partie des attributs du principe vital de l'animal auquel ils appartenaient primitivement, ou ont-ils fait un emprunt aux forces du principe vital de l'organisme dont, après la greffe, ils sont devenus les parasites?

Si de l'étude des animaux supérieurs nous passons à celle des animaux inférieurs, nous voyons les faits de même nature se multiplier dans une proportion très-considérable et toujours avec la même signification.

Nous nous contenterons de signaler, en passant, les nombreuses observations de reproduction des

pattes de l'écrevisse, des tentacules de l'escargot, des nageoires des poissons, de la queue des têtards de grenouille, des membres, de la queue et même des mâchoires de triton, etc., etc. ; tous ces faits accusent une tendance évidente à la restauration de la forme typique que nous retrouvons aussi très-prononcée chez les animaux supérieurs, et qui se manifeste d'une manière si éclatante dans le travail de consolidation et de réparation des os fracturés. Mais cette tendance remarquable ne peut en aucune façon être considérée comme attribut d'un principe vital, d'une force unique indépendante, qui tiendrait sous sa dépendance immédiate tous les actes de l'économie. Elle existe, en effet, dans toutes les parties de l'économie, même alors qu'elles ont été séparées du corps. Deux exemples nous suffiront pour mettre en lumière l'exactitude de cette dernière proposition.

M. Vulpian a vu un tronçon de nerf hypoglosse et de nerf lingual transplanté sur la peau de l'aine d'un animal se régénérer, après avoir subi une altération profonde dans toute sa longueur. — M. Bert, après avoir obtenu la greffe d'une queue de rat sous la peau d'un autre rat, fractura un des os de cette queue. Le travail de consolidation de la fracture s'opéra aussi régulièrement que si l'organe avait été maintenu dans sa position normale. — Loin d'accuser l'intervention d'une force directrice, indépendante, tous ces faits déposent en faveur de l'existence d'une activité

propre dans chaque élément histologique, activité qui se manifeste toutes les fois que l'élément peut entrer en conflit avec les matériaux du sang.

Tout le monde connaît les célèbres expériences de Trembley, si souvent répétées dans les laboratoires et dans les cours de physiologie. Quand on divise en deux et même plusieurs segments un polype d'eau douce, chaque tronçon vit de sa vie propre, se développe et reproduit un animal entièrement semblable au polype primitif.

Dugès a obtenu des résultats du même genre avec une planaire ; il a même montré qu'il est indifférent de pratiquer les sections perpendiculairement ou parallèlement à l'axe du corps de l'animal. — Des expériences semblables ont été tentées avec succès sur d'autres invertébrés.

Ces faits parlent assez haut d'eux-mêmes pour qu'il soit inutile d'insister. On se demande ce que peut être une force unique, indépendante, qui pourrait être ainsi mécaniquement divisée et subdivisée en autant de fragments que le corps de l'animal auquel elle aurait été primitivement surajoutée.

Et quant au but d'utilité poursuivi et atteint dans toutes ces restaurations et reproductions, il nous suffira sans doute, pour démontrer l'inanité d'une telle hypothèse, d'emprunter à M. Vulpian le récit de la reproduction d'une expérience de Dugès. « Je fais,

dit-il[1], sur une planaire une section longitudinale qui, partant de l'extrémité antérieure du corps, s'arrête au milieu de la longueur de l'animal. Si le principe vital, si la nature médicatrice, avaient pour l'individu ainsi opéré une sollicitude aussi grande qu'on a pu le penser, ces forces vigilantes devraient se hâter d'amener la soudure des deux parties ainsi séparées. Mais il n'en est rien : ces deux parties s'éloignent l'une de l'autre angulairement, et chacune d'elles, au bout de quelques jours, s'est complétée en régénérant les parties qui lui manquent, de telle sorte qu'alors on a sous les yeux un monstre à deux têtes, dont chacune a son instinct propre, se meut d'une façon égoïste; et la vie de cet animal monstrueux est devenue par suite, comme on le conçoit, extrêmement pénible. »

Dans l'état actuel de la science, tout être vivant doit être considéré comme le produit du développement d'un germe. Pris isolément, séparés l'un de l'autre, l'ovule, production de l'organe femelle, et certains éléments de la liqueur fécondante, sécrétion de l'organe mâle, se nourrissent, jouissent d'une vie propre, mais leurs manifestations vitales s'épuisent fatalement dans un cercle très-borné. Pour qu'il y ait germe complet, la réunion de l'ovule et de la liqueur fécondante, produits de provenance et de consti-

[1] *Leçons sur la Physiologie générale et comparée du système nerveux*, page 398.

tution si différentes, est nécessaire; c'est seulement après leur conflit, après la fécondation, que le germe est constitué, entre en puissance de la faculté de se nourrir, de se développer, de produire un être vivant de forme déterminée.

L'action réciproque, quelle qu'elle soit d'ailleurs, de l'ovule et de la liqueur fécondante ne peut pas évidemment *créer* et *surajouter* au germe une force indépendante, directrice, qui ne préexiste dans aucun des deux éléments en présence, puisque, isolés, ils sont, l'un comme l'autre, incapables de la manifester. Ce conflit ne peut produire qu'une modification de la composition et du mode de groupement des éléments histologiques, et, par suite, communiquer à l'agrégat organique résultant la faculté de contracter avec le monde extérieur des rapports différents de ceux dont étaient susceptibles, chacun pour sa part, l'ovule et la liqueur fécondante.

Ainsi constitué, et placé dans un milieu approprié, le germe se développe dans une direction déterminée et reproduit un être semblable à ceux dont il dérive lui-même. Ne tenant pas un assez grand compte du rôle si considérable que jouent les conditions extérieures dans tous ces phénomènes, les diverses écoles vitalistes ont particulièrement insisté sur cette tendance à l'acquisition d'une forme typique, et l'ont présentée comme un des attributs d'une force indé-

pendante, directrice du développement du germe et surajoutée à l'agrégat organisé.

Les physiologistes *animistes* qui prennent pour devise cette proposition d'Aristote : *Anima est forma corporis*, professent que cette force indépendante et directrice est l'*âme* elle-même. Dans cette doctrine, l'âme n'est pas simplement unie, surajoutée à un corps tout formé pour l'animer et lui communiquer la vie ; elle intervient activement dès le début de l'apparition de l'être vivant ; elle s'empare de la matière ambiante avec toutes ses propriétés, la travaille, la modifie, la transforme, lui imprime une *forme qui est la sienne propre*, et fabrique ainsi de toutes pièces le corps qu'elle doit habiter et dont elle doit diriger toutes les fonctions organiques en même temps que toutes les manifestations psychiques. — L'animisme a incontestablement sur le vitalisme le double avantage d'être plus logiquement conçu et de ramener la science à l'unité de principe. Mais toutes ces doctrines qui rapportent les mouvements de la matière, dès le moment même de la formation de l'être vivant, ou seulement dans l'accomplissement des fonctions organiques, à l'intervention d'une force directrice, *indépendante* et par cela même inaccessible à nos moyens d'investigation, nous apparaissent comme des conceptions brillantes, purement hypothétiques, derniers vestiges de tendances métaphysiques dont les biologistes doivent enfin secouer le joug s'ils veulent

imprimer à leur science la marche ascendante des autres branches des connaissances humaines.

Dans sa concision et son apparente profondeur, la célèbre proposition d'Aristote : *Anima est forma corporis*, est sans doute séduisante, mais si, dans la bouche du philosophe de Stagyre, ces expressions ne sont pas une pure métaphore, nous avouons humblement ne pas comprendre comment une *âme immatérielle* peut avoir une *forme définie* et *réalisable dans un agrégat organique essentiellement matériel.* — D'ailleurs, ceux-là même qui ont cherché à accréditer l'idée de l'existence *d'un règne humain* n'ont jamais prétendu que le germe de l'homme se développât autrement que celui des autres animaux. Le travail de nutrition est au fond du même ordre dans toute l'étendue du monde organisé. Pour être conséquents, les animistes ne peuvent pas s'arrêter à l'homme; ils doivent rapporter à l'action directe d'une *âme indépendante* le développement des animaux supérieurs et inférieurs, des proto-organismes, des plantes elles-mêmes.

Dans la même page où, à tort selon nous, il déclare qu'on parviendra un jour à réduire à des considérations physico-chimiques toutes les propriétés manifestées dans les phénomènes des êtres vivants, M. C. Bernard n'hésite pas à considérer la vie comme une force spéciale, directrice, commandant à tous les mouvements, à toutes les fonctions, à tous les

actes de l'être organisé. « La vie[1], dit-il, a son essence primitive dans la force de développement organique... S'il fallait définir la vie d'un seul mot, qui, en exprimant bien ma pensée, mît en relief le seul caractère qui, suivant moi, distingue nettement la science biologique, je dirais : La vie, c'est la *création*... Ce qui caractérise la machine vivante, ce n'est pas la nature de ses propriétés physico-chimiques, si complexes qu'elles soient, mais bien la *création* de cette machine qui se développe sous nos yeux dans des conditions qui lui sont propres et d'après *une idée définie* qui exprime la nature de l'être vivant et l'essence même de la vie... Ce qui est essentiellement du domaine de la vie et qui n'appartient, ni à la chimie, ni à la physique, ni à rien autre chose, c'est l'*idée directrice* de cette évolution vitale. Dans tout germe vivant, il y a une *idée créatrice* qui se développe et se manifeste par l'organisation. Pendant toute sa durée, l'être vivant reste sous l'influence de cette même *force vitale créatrice*, et la mort arrive lorsqu'elle ne peut plus se réaliser. Ici, comme partout, tout dérive de l'*idée qui seule crée et dirige*... C'est toujours cette même *idée vitale* qui conserve l'être, en reconstituant les parties vivantes désorganisées par l'exercice ou détruites par les accidents et par les maladies. »

[1] *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, page 161.

En faisant intervenir dans les phénomènes de nutrition et de développement de l'être organisé une *entité indépendante*, qu'il désigne sous les noms divers d'*idée définie*, d'*idée directrice*, d'*idée créatrice*, d'*idée vitale*, de *force vitale créatrice*, M. C. Bernard s'est évidemment rangé sous le drapeau du *vitalisme*. Ajoutons même qu'en définissant la vie, la *création*, en faisant de son entité indépendante une *force créatrice*, il a dépassé de bien loin la conception métaphysique des animistes. Dans la doctrine animiste, en effet, l'âme a bien la propriété de modifier la matière, de lui imprimer une forme déterminée, de fabriquer le corps organisé dont elle dirigera ensuite tous les actes ; mais personne jusqu'ici n'avait eu la pensée d'accorder, de reconnaître à cette âme *formatrice* et *directrice* la puissance de *créer* quoi que ce soit.

Cette tendance à la réalisation d'une forme déterminée a-t-elle bien toute l'importance que lui attribue l'école vitaliste ; ne se manifeste-t-elle pas même dans certains phénomènes du monde inorganique ? — Nous savons que, dans une dissolution saline placée dans des conditions convenables de repos et d'évaporation lente et régulière, les molécules d'un même sel s'agrégent suivant *un plan déterminé*, de manière à reproduire fatalement un cristal de forme parfaitement définie et toujours la même. Nous ne voulons pas insister sur ces faits, ni sur les phéno-

mènes si nombreux d'affinité élective; mais nous pensons qu'ils sont de nature à faire réfléchir. — En tout cas, cette tendance n'existe pas seulement dans le germe, nous la retrouvons dans tout être vivant et répandue dans toutes les parties de l'économie, comme le prouvent les exemples de transplantation, de réparation des os fracturés, de régénération des cordons nerveux dont nous avons déjà parlé, et surtout les expériences de Tremblay et de M. Dugès sur les polypes d'eau douce et autres animaux inférieurs.

D'ailleurs, si cette tendance à l'acquisition d'une forme typique accuse, dans le germe, l'action d'une force indépendante et directrice, il y a nécessité ou d'admettre que cette force est *divisible* et que chacune de ses fractions conserve tous ses attributs, ou que chaque partie constituante du germe possède *en propre* une force de même nature. Parmi les expériences qui démontrent, d'une manière incontestable, que chaque partie du germe, même isolée de l'agrégat organique, se développe dans une direction déterminée comme si la séparation n'avait pas été pratiquée, nous nous contenterons de citer, *in extenso*, la suivante que nous empruntons à M. Vulpian [1].

« Sur des larves de grenouille, dit-il, dégagées de

[1] *Leçons sur la physiologie générale et comparée du système nerveux*, page 296.

leurs enveloppes depuis vingt-quatre heures, je sépare la queue du reste du corps, et je mets dans l'eau les queues ainsi obtenues. Au moment de l'opération, on ne pouvait distinguer aucun des organes profonds faisant partie de la queue. Elle était à peine transparente, et l'on n'apercevait ni l'axe vertébral, ni les masses musculaires; il paraissait n'y avoir aucun vaisseau dans l'enveloppe cutanée, et l'épiderme, couvert de cils vibratiles, contenait une masse de pigment noirâtre qui contribuait à rendre le segment caudal presque complétement opaque. *Les quelques éléments cellulaires que l'on voyait au-dessous de la peau étaient remplis de granulations vitellines.* — Deux jours après l'opération, la partie axile commence à être reconnaissable ; on y distingue déjà confusément les masses musculaires, avec leurs interstices obliques et parallèles. En même temps, la surface de section se cicatrise et bourgeonne quelque peu. — Le quatrième jour, les muscles et leurs interstices se dessinent davantage dans la partie axile ; les lames natatoires se détachent plus nettement du reste de la queue ; *la quantité des granulations vitellines diminue*, il y a de légers mouvements, spontanés en apparence. — Le sixième jour, on voit distinctement les faisceaux musculaires parallèles les uns aux autres, la colonne vertébrale est bien visible, et l'on aperçoit des rudiments de vaisseaux. — Le huitième ou le neuvième jour, les vais-

seaux sont mieux dessinés et leurs ramifications se sont compliquées. On aperçoit du sang immobile dans quelques points de ces vaisseaux. Les *granulations vitellines ont disparu en grande partie*. Le segment caudal s'est progressivement et considérablement accru en longueur et en largeur. — Vers le dixième jour, quelquefois plus tard, ce segment *meurt*. Il est, à ce moment, tout aussi développé, sous tous les rapports, que la queue des embryons nés le même jour, et non mutilés. »

Voilà l'exemple d'un segment caudal isolé du reste du corps, qui parcourt successivement et régulièrement toutes les phases de son développement organique, comme si la séparation n'avait pas eu lieu. Dans des conditions convenables d'humidité, de chaleur et de lumière, les *cellules vitellines* se sont transformées, chacune dans le sens de son activité propre ; ce travail intérieur a successivement produit et groupé les divers éléments histologiques ; d'abord sont apparus les muscles, puis les vaisseaux, puis le sang; la queue s'est ainsi trouvée constituée à son état normal. Cette œuvre de formation s'est tout entière accomplie aux dépens des matériaux organiques accumulés dans la larve, et ces matériaux suffisaient à cette évolution. Mais, une fois pourvue de toutes ses parties constituantes, la queue ne pouvait se nourrir, maintenir son organisation, continuer à *vivre* qu'à la condition de contracter de nouveaux

rapports avec le milieu ambiant, d'emprunter et de rendre au monde extérieur. Elle est *morte* parce que, faute d'un organe d'impulsion capable de mettre le sang en mouvement, ces nouveaux rapports ne pouvaient s'établir ; comme le dit très-bien M. Vulpian : « A cette époque du développement, la circulation devient absolument indispensable pour enlever des tissus tous les produits de désassimilation, et pour leur fournir des matériaux nutritifs. »

Tant qu'il ne s'est agi que de transformer en éléments histologiques déterminés les cellules vitellines préexistantes, il n'y avait rien à rejeter ni à emprunter au dehors, le travail organique est resté localisé à l'intérieur et a pu s'accomplir ; l'évolution a atteint le plus haut degré de développement compatible avec les conditions imposées par l'expérience. Mais, à partir de ce moment, une vie nouvelle devait commencer ; au travail de simple formation pour lequel tout était préparé, devait succéder un travail de renouvellement et de nutrition exigeant des conditions nouvelles qui ne se trouvaient pas réalisées. Réduit, par le fait même de son isolement, à l'état d'*organisme incomplet*, le segment caudal est *mort*, parce que les matériaux ont manqué à la mise en jeu de ses éléments histologiques de nouvelle formation.

En présence d'un germe dont l'évolution régulière aboutit au développement d'un être vivant de

forme déterminée, l'école vitaliste, dominée par cette tendance métaphysique qui a longtemps dominé dans la science et dont l'influence s'affaiblit tous les jours, égarée d'ailleurs par cette fatale erreur qui présente comme inconciliables l'idée d'*inertie* et l'idée d'*activité* de la matière, l'école vitaliste s'est empressée de rapporter les mutations, les transformations, les mouvements de toute nature effectués dans l'intérieur du germe à l'action d'une force indépendante et directrice. — Mais nous avons vu que, pour être *inerte*, la matière n'en est pas moins *active ;* nous avons vu, en outre, que l'activité propre d'un agrégat quelconque dépend à la fois de la composition et de la texture, c'est-à-dire du mode de groupement, de ses parties constituantes. Partant de ces notions, aujourd'hui incontestables, nous disons : dans le germe, chaque élément travaille de son côté en vertu de son activité propre, l'activité ou vie d'ensemble n'est que la *résultante* de ces activités partielles. L'évolution du germe s'opère donc forcément dans une direction déterminée qui est celle de cette *résultante* et non d'une force *indépendante*, *hypothétiquement* et *inutilement surajoutée*. Le produit de cette évolution est un être *complet*, capable d'une vie propre, quand le germe est lui-même *complet*. Mais, dans le cas d'un germe *incomplet* (queue isolée de larve de grenouille), l'évolution n'aboutit qu'à ce que peut produire la *résultante*

des activités des éléments en présence, un organisme *incomplet*, incapable, par cela même, d'accomplir le travail d'un développement ultérieur, et condamné à disparaître aussitôt que formé.

Bonnes ou mauvaises, les dispositions organiques sont transmissibles par voie d'hérédité. Bien que le mécanisme intime de la production des éléments du germe soit encore enveloppé de profondes ténèbres, on comprend cependant que, dès leur formation dans les organes mâles et femelles, ces éléments puissent contracter des qualités qui exercent une profonde influence sur le mode de développement ultérieur du germe. Mais en quoi et comment la constitution des parents peut-elle avoir action sur une force indépendante, directrice et même *créatrice* que nous savons ne préexister ni dans l'ovule ni dans la liqueur fécondante, surtout dans les cas de *fécondation externe* si fréquents dans la série animale?

Quelque parfaite que soit l'organisation du germe, son évolution ne peut commencer et continuer dans une direction normale, qu'autant que les conditions du milieu ambiant le permettent. Sous ce rapport, l'étude du règne végétal fournit des faits très-curieux et d'une haute importance. Certaines graines, comme celles du café, contiennent des huiles essentielles volatiles, d'autres, comme les graines de croton et d'autres Euphorbiacées, contiennent des huiles fixes. L'évaporation enlève aux premières un de leurs élé-

ments constituants ; la matière grasse des secondes rancit sous l'influence de l'oxygène. La constitution des unes et des autres s'altère nécessairement à l'air libre ; il n'y a donc pas lieu de s'étonner si, en même temps que les matériaux préparés pour la nutrition du germe subissent une si profonde modification, toutes ces graines perdent, en très-peu de temps, leur faculté germinative.

Il n'en est pas de même des graines des Céréales et des Légumineuses, chez lesquelles domine la matière amylacée. Pourvu qu'on les maintienne à l'abri de l'humidité, elles n'éprouvent aucune altération et conservent indéfiniment la propriété de germer quand on les place dans des conditions convenables de milieu ambiant. — M. Auguste Saint-Hilaire a vu germer des graines de Céréales et de Légumineuses récoltées depuis quarante ans. — En 1840, des graines de haricots enfermées, depuis l'année 1700, dans l'herbier de Tournefort ont été semées et ont fourni des tiges et des fruits. — M. Ridolfi a déposé, dans le musée égyptien de Florence, une gerbe d'une centaine de pieds de blé provenant de l'ensemencement de grains de blé extraits du cercueil *intact* d'une momie égyptienne dont l'antiquité remonte à environ 3000 ans[1]. Les brins de paille, d'environ

[1] On lit au-dessus de cette gerbe l'inscription suivante :

Grano ottenuto a Meleto nel 1855 da un grano estratto da una mummia egyziana. RIDOLFI.

deux mètres de hauteur, sont forts et résistants ; les épis sont très-bien développés. — En Amérique, à la suite des défrichements des forêts vierges, chaque nouveau coup de charrue, pendant plusieurs années, met à découvert des couches superposées de graines enfouies dans le sol, à l'abri du contact de l'air, depuis une longue série de siècles. Désormais placées dans des conditions favorables à leur développement, ces graines germent et couvrent le sol d'une riche et abondante végétation [1].

Ajoutons que les germes des végétaux, quand ils ont préalablement été desséchés à froid, peuvent supporter des températures supérieures à celles de l'eau bouillante, sans perdre la faculté de se développer quand ils sont placés dans des conditions convenables de température et d'humidité [2].

Ainsi donc, tant que la composition et la texture de la graine n'éprouvent pas de modification profonde, les conditions *internes* du développement de l'embryon se maintiennent intactes, la faculté germinative persiste et n'attend pour se manifester que la réalisation des conditions *extérieures* nécessaires.

Cette persistance de la faculté germinative a été constatée, mais dans des limites beaucoup plus restreintes, chez les animaux supérieurs ovipares. Lorsqu'un œuf de poule fécondé est maintenu à une

[1] Voy. aux Documents, VI.
[2] Voy aux Documents. VII.

température assez élevée et que l'air peut pénétrer à travers la coquille, l'évolution du germe s'effectue normalement. Si la température est trop basse et que l'accès de l'air reste possible, l'embryon, au lieu de se développer, s'altère, se décompose, se pourrit. Qu'arrive-t-il si la coquille est recouverte d'un enduit imperméable? « L'embryon ne se développe point, dit M. C. Dareste[1], dans un œuf dont la coquille a été entièrement recouverte d'huile, si l'application de cette substance a été faite à une époque aussi rapprochée que possible de la ponte et avant la formation de la chambre à air. Tous ces faits donnent une démonstration indirecte du phénomène physiologique si important de la respiration de l'embryon dans l'œuf, phénomène que plusieurs physiologistes avaient déjà constaté par d'autres méthodes, mais à l'aide de procédés qui pouvaient donner prise à diverses objections. Il faut encore ajouter que ces expériences jettent un certain jour sur les procédés que l'on emploie dans l'économie domestique pour conserver les œufs, pendant un temps plus ou moins long, avec leurs propriétés alimentaires ou *germinatives*. »

Les belles recherches de téréologie expérimentale de M. C. Dareste mettent en pleine lumière toute l'importance du rôle joué par le milieu ambiant dans

[1] Exposé des titres et des travaux scientifiques de M. Camille Dareste. Paris, 1868, page 10.

le développement du germe ; cet habile physiologiste a surtout et presque exclusivement étudié l'influence de la chaleur. — Il a cherché à déterminer la manière dont se fait l'évolution dans des œufs soumis à des températures supérieures et inférieures à la température normale de l'incubation. L'accélération des phénomènes, résultat constant de l'influence des températures supérieures, produit cette diminution de la taille qui constitue le *nanisme*. Les températures inférieures, au contraire, *retardent* considérablement la marche du développement et ne *permettent pas à l'embryon de dépasser une certaine période*.

Ces résultats sont en parfaite concordance avec ce que nous savons de l'influence de la température extérieure sur la végétation. M. Boussingault a étudié la culture d'une même céréale dans des lieux différents. Il a compté le nombre de jours qu'il faut à un grain d'orge pour germer et se développer en tige chargée d'un épi mûr, en un mot pour parcourir le cycle complet de la végétation ; en même temps il a déterminé la température moyenne du lieu de l'observation pendant la période correspondante à l'évolution de la plante. Il a ainsi constaté que la longueur de cette période varie sensiblement en raison inverse de la température moyenne, en sorte que, sous quelque latitude qu'il parcoure les phases de son développement complet, un même grain d'orge

reçoit toujours du milieu ambiant une même quantité de chaleur. M. Boussingault fait observer cependant qu'à un certain moment du développement du végétal, la *température extérieure ne doit pas rester inférieure à un certain degré*, sans quoi la céréale ne peut pas arriver à *maturité complète* [1].

M. C. Dareste a obtenu des résultats très-remarquables en faisant varier le mode d'échauffement des œufs dans sa couveuse artificielle. L'appareil est disposé de manière que le contact de l'œuf avec la source de chaleur se fasse par un seul point. Il a vu qu'il suffit de faire varier la position de l'œuf par rapport à la source de chaleur, pour troubler l'évolution d'une manière différente. Il a pu ainsi reproduire presque tous les types des monstruosités simples à diverses époques de la formation de l'embryon. « J'ai constaté [2], dit-il, une condition très-générale de la formation de la plupart des anomalies, de celles du moins qui modifient profondément l'organisation : c'est qu'elles apparaissent de très-bonne heure, et dans cette période de la vie où l'embryon est réduit à une matière homogène, où la forme générale du corps et la forme spéciale de chaque organe s'ébauchent avant l'apparition des éléments histologiques définitifs..... tous ces travaux montrent comment il arrive que l'*évolution, normale à ses débuts, quitte, à une*

[1] Voy. aux Documents, VIII.
[2] *Loco citato*, pages 11 et 15.

certaine époque, sa direction primitive pour s'engager dans une direction nouvelle. »

Il demeure donc établi que les agents extérieurs jouent un rôle considérable dans le développement des germes. En faisant varier les conditions mécaniques, physiques et chimiques de milieu ambiant, on reste maître d'accélérer, de retarder, d'empêcher complétement l'évolution ; on peut même imprimer à volonté au travail de formation telle ou telle direction déterminée et différente de la direction normale. Les physiologistes qui se refusent à trouver, dans l'organisation et dans les activités propres de ses éléments combinées avec les actions extérieures, la raison nécessaire et suffisante de l'évolution, seront fort embarrassés de faire cadrer ces faits avec la conception d'une force *indépendante*, *créatrice*, *distincte par sa nature des agents cosmiques* et surajoutée à l'agrégat organique.

Les forces, en effet, ne peuvent s'influencer mutuellement qu'à la condition d'être de même nature. Dès lors, cette force directrice, *spéciale par sa forme et par sa nature*, à laquelle l'école vitaliste rapporte hypothétiquement tous les phénomènes de la nutrition, par cela même qu'elle est si profondément influencée dans son action par les forces de l'ordre mécanique, physique et chimique, perd évidemment son caractère d'*indépendance*, et rentre forcément dans la catégorie des agents cosmiques dont elle peut

se distinguer encore par la *forme*, mais nullement par la *nature*.— Cette force n'est plus, comme nous l'avons répété à satiété, que la *résultante* des activités propres des éléments de germe combinées avec les actions extérieures.

Avant que l'embryon ait commencé à vivre d'une *vie propre* et *indépendante*, nous avons vu qu'en l'entourant de précautions convenables, on peut le maintenir un certain temps, et quelquefois très-longtemps, dans un *état statique*, sans rien lui faire perdre de ses propriétés germinatives. La vie indépendante de l'agrégat organique peut-elle être momentanément suspendue quand une fois elle a commencé? Un être vivant, actuellement en pleine jouissance de toute son activité, peut-il être ramené à l'*état statique*, sans perdre la faculté de reprendre le cours interrompu de son évolution normale quand il sera placé de nouveau dans les conditions primitives? L'observation démontre que tout cela est possible, à la condition que les changements de composition ou de texture, subis par l'organisme dans le cours de l'opération, ne constituent pas une lésion *irrémédiable*.

L'eau entre, à titre de principe constituant essentiel, dans la composition du corps des végétaux et des animaux. Privé d'eau et quelque complet qu'il soit sous tous les autres rapports, un organisme ne peut en aucune manière entrer en échange

régulier avec le monde extérieur ; il n'y a pas pour lui d'activité, de vie, possible. Cette eau peut être enlevée par l'évaporation, ou ramenée à l'état solide par voie de congélation ; puis elle peut être rendue à l'organisme. Quelque nécessaire donc que l'eau soit à l'entretien de la vie, on peut à volonté, en s'entourant de précautions convenables, en priver l'agrégat organique et la lui restituer, sans altérer autrement les rapports, la composition et la texture des organes. Les expériences tentées dans cette direction ont fourni des résultats de la plus haute importance.

M. Vilmorin a reçu d'Amérique une fougère arrivée complétement *desséchée*. Cette plante humectée et maintenue sous l'influence de l'humidité a repris sa forme ; elle a vécu et s'est développée très-régulièrement. — M. Duval-Jouve a planté, après *sept* années de séjour dans un herbier, des bulbes d'isoëtes qui ont très-bien poussé. Le même observateur a vu en outre des parties souterraines d'équisetum pousser de nouvelles tiges après plusieurs années de séjour dans un herbier.

Il résulte des expériences de M. Bureau et de M. Hanbury que des végétaux pris parmi les Cryptogames vasculaires, quand ils ont préalablement été *desséchés* à l'air libre, peuvent, sans perdre la faculté de se développer ultérieurement, être maintenus, pendant une *douzaine* de jours, dans l'air raréfié de la cloche de la machine pneumatique au-des-

sus d'une capsule pleine d'acide sulfurique bouilli, puis enfin rester *huit jours* dans une étuve *sèche* dont la température est portée à *soixante-six degrés*. Ces plantes ainsi *desséchées* sous la triple influence de l'air libre, du vide sur l'acide sulfurique et de l'air sec et chaud, reprennent leur aspect ordinaire quand on leur rend l'eau qu'elles ont perdue, vivent, et fournissent des boutures qui, placées en terre, se développent à leur tour.

Les observations et les expériences faites sur les animaux ont donné des résultats bien plus remarquables encore. — Les voyageurs racontaient depuis longtemps qu'en Russie et dans le nord des États-Unis d'Amérique, on transporte au loin des poissons *congelés*, empaquetés, roides comme des bâtons, et que, même après *dix* ou *quinze* jours de *congélation complète*, ces animaux reprennent toute leur activité quand on les plonge dans de l'eau à la température ordinaire. Ces faits, dont l'authenticité a été d'abord contestée, sont acceptés sans difficulté depuis les expériences intéressantes tentées, en Islande, par M. Gaymard en 1828 et 1829.—Il plaça des crapauds dans une boîte remplie de terre et les exposa à l'influence de la température extérieure. Au bout de quelque temps, il ouvrit la boîte ; ces animaux étaient durs et roides comme des *cadavres gelés ;* toutes les parties de leur corps étaient *inflexibles* et *cassantes ;* quand on les brisait, il ne s'en échappait

pas une *seule goutte de sang*. Placés dans de l'eau légèrement chauffée, ces crapauds recouvrèrent la flexibilité de leurs membres à mesure que les glaçons fondaient, en dix minutes ils *reprirent toute leur activité ordinaire*. M. Gaymard fait observer que, pour réussir à ranimer ces animaux, il faut avoir soin de les soumettre à l'action d'un refroidissement lent et gradué, de manière à éviter une *congélation trop rapide*. — Ces expériences intéressantes ont été répétées bien souvent, avec succès, sur des grenouilles, dans les cours et les laboratoires de physiologie; il demeure donc établi que, même après une *congélation complète*, des animaux vertébrés peuvent reprendre toute leur activité, quand l'eau de composition de leurs tissus repasse à *l'état liquide* sous l'influence d'un réchauffement modéré.

Ce n'est pas ici le lieu de faire l'histoire des animaux *réviviscents* découverts en 1701 par Leeuwenhoek, observés plus tard, en 1743, par Needham et Henry Baker, si bien étudiés de 1767 à 1776 par Spallanzani et vers la même époque par Fontana. — Dans un Mémoire, plein d'observations importantes et d'expériences très-bien instituées, M. Doyère appela de nouveau, en 1842, l'attention des physiologistes sur ce phénomène de la réviviscence [1]. A la

[1] Les animaux qu'on a surtout étudiés sous le nom de *réviviscents* sont : les rotifères, les tardigrades, les anguillules des toits et les anguillules du blé niellé.

suite de ses recherches sur l'hétérogénie, M. Pouchet se trouva entraîné à contester l'exactitude des conclusions du travail de M. Doyère ; en 1859, la Société de biologie fut prise pour arbitre dans cette importante discussion. Dans un rapport fort remarquable, lu à la Société de biologie dans les séances des 17 et 24 mars 1860, M. Broca fit connaître les résultats des expériences entreprises par la commission. A cette occasion nous fîmes nous-mêmes, en juillet, août et octobre 1859, une série d'expériences dont les résultats sont consignés dans un Mémoire publié au commencement de novembre [1]; nous avons démontré dans ce travail que :

1° *Desséchés* d'abord à l'air libre, puis par l'exposition, *pendant cinquante-cinq jours*, à l'action du vide et de l'acide sulfurique bouilli sous la cloche de la machine pneumatique, les rotifères, les tardigrades et les anguillules des toits *reprennent toute leur activité* quand on leur rend l'eau dont l'évaporation les a dépouillés ;

2° Les rotifères et les tardigrades complétement *desséchés à froid* par le procédé précédent, et placés dans une *étuve sèche* dont la température est graduellement portée à *cent degrés*, *reprennent leur activité* quand on les humecte après refroidissement ;

[1] *Annales des sciences naturelles (zoologie)*, IVe série, 1859, tome XI, page 315.

3° Des rotifères et des tardigrades *complétement desséchés à froid*, chauffés dans l'étuve *sèche à cent degrés*, puis exposés pendant *trente minutes* à des températures graduellement croissantes de *cent à cent dix degrés*, reprennent leur activité sous l'influence de la *simple hydratation* [1];

4° Bien que préalablement *desséchés à froid* avec toutes les précautions possibles, ces animaux exposés à des températures supérieures à *cent dix degrés ne reprennent pas leur activité*, quand on les humecte.

Nous sommes donc autorisé à répéter en 1869 ce que nous disions en 1859 : Lorsque, avant de soumettre les rotifères et les tardigrades des mousses des toits à l'action de températures graduellement

[1] La commission de la Société de biologie a obtenu des résultats de même nature dans une expérience décisive tentée en février 1860 (rapport de M. Broca, page 85 et suivantes) ; elle a vu *onze* rotifères reprendre *leur activité* dans des *mousses humectées*, après avoir passé *quarante-deux* jours dans le *vide sec* et avoir subi, pendant *trente minutes*, une température de *cent degrés*.

Dans son livre, L'UNIVERS, publié en 1865, M. Pouchet n'en a pas moins répété ses anciennes assertions. En parlant du rotifère, il dit, page 36 : « Si *vous le faites réellement sécher, jamais il ne revient;* » et plus loin, page 360, il ajoute à propos des mêmes animaux : « La dessiccation *poussée à quatre-vingt-dix degrés les tue absolument.* »

Quand il traçait ces lignes, M. Pouchet avait sans doute oublié le rapport de M. Broca, et les résultats obtenus par la commission de la Société de biologie dont il avait accepté l'arbitrage dans sa discussion avec M. Doyère. Il nous en coûterait de croire qu'à ses yeux les faits les mieux constatés cessent d'être vrais du moment où ils se trouvent en contradiction avec ses assertions et ses vues personnelles.

croissantes, on a soin de les *dessécher complétement à froid*, (si d'ailleurs on met de côté les cas dans lesquels la dessiccation et l'échauffement ont déterminé des *lésions mécaniques*,) *tant que la température n'est pas assez élevée pour altérer la composition des matières organiques de leurs tissus, la chaleur n'enlève pas à ces animaux la faculté de reprendre leur activité sous l'influence de l'hydratation.*

Dans ces conditions, qu'est-ce qu'un animal *congelé*, qu'est-ce qu'un végétal ou un animal *complétement desséché* sous la double influence du *vide sec* et de *la chaleur?* Ce sont évidemment autant d'organismes *incomplets*. Ils ont perdu *toute* leur *eau* (au point de vue physiologique, la *glace n'est pas de l'eau*) ; *toute activité* leur a été enlevée avec ce *seul* élément constituant. L'hydratation ne peut que leur rendre et leur rend, en effet, ce seul *élément qui leur manque ;* redevenus *complets*, ces organismes reprennent immédiatement *toute leur activité.* — Tour à tour *détruite* et *rétablie* à volonté par de simples modifications de sens contraires de conditions mécaniques, physiques et chimiques, la *vie* de ces végétaux et de ces animaux nous apparaît évidemment, dans ces expériences, comme la *résultante* des activités de leurs éléments histologiques combinées avec les actions des agents extérieurs.

Pour expliquer ces phénomènes de réviviscence, continuera-t-on à répéter que, dans ces organismes

congelés ou *desséchés*, la *vie*, *force indépendante* et *surajoutée* à l'agrégat organique, persiste à l'*état latent?* Vains subterfuges, pures logomachies derrière lesquelles cherche à s'abriter une théorie aux abois, dont les progrès de la science ont définitivement fait justice ! Où sont donc les exemples d'une *force présente* qui ne révèle son existence par aucune manifestation? — Contrebalancée par une résistance, la pesanteur peut bien ne pas communiquer du mouvement à un corps ; mais elle n'est pas *latente*, elle produit une pression ou une traction. — La chaleur n'est pas à l'*état latent* dans la vapeur d'eau ; transformée en élasticité, elle se manifeste par une pression. — L'électricité n'est pas *latente* dans la bouteille de Leyde ; accumulée, sous les armatures métalliques, sur les faces du corps isolant, elle exerce une pression qui se manifeste par une rupture du verre si la condensation est suffisante. — Là où la rencontre de deux rayons lumineux produit de l'obscurité, la force vive de vibration de l'éther n'est pas à *l'état latent*, elle est *détruite*. — Il en est de même de l'*activité*, de la *vie* du rotifère ; *détruite* par la dessiccation, elle est *restituée* par l'hydratation qui rend à l'organisme le *seul* élément qui lui manque pour être *complet*. — Dans le monde organique comme dans le monde minéral, il n'est pas possible d'admettre la présence d'une force là où son existence n'est accusée par aucune manifestation.

Fidèle à ces principes de philosophie générale qu'il avait puisés dans ses études des sciences exactes, Barthez déclare, dans ses *Nouveaux éléments de la science de l'homme*[1], que la présence d'une *cause de vie* dans le corps d'un animal ne peut pas être affirmée pendant un temps où rien n'indique, directement ni indirectement, que cette cause exerce une fonction dans ce corps. Il est curieux de voir comment, après cette déclaration formelle, il a pu considérer les phénomènes de réviviscence. « Ce qui est sans doute le plus vraisemblable, dit-il[2], c'est que le *principe de la vie n'existe plus* dans ces animalcules, lorsque le desséchement les réduit en atomes... et que ce *principe leur est rendu* (même après une absence de plusieurs années) lorsque l'affusion d'une goutte d'eau vient à développer convenablement ces organes. »

Avec beaucoup de physiologistes de notre époque, nous acceptons comme vraie cette interprétation des phénomènes de réviviscence. Convaincu que l'activité d'un organisme dépend uniquement de la composition, du mode de groupement et de la texture de ses éléments histologiques, et des conditions du milieu ambiant, nous devons nécessairement ad-

[1] *Nouveaux éléments de la science de l'homme.* 2e édition, tome II (notes), page 172.

[2] *Nouveaux éléments de la science de l'homme.* 2e édition, tome I (notes), page 91.

mettre qu'il suffit d'*enlever* et de *rendre* au corps d'un animal un de ses éléments constituants pour, en même temps, lui *enlever* et lui *rendre* la faculté de vivre. — De telles conclusions doivent nécessairement être repoussées par les disciples des diverses écoles vitalistes. Sans doute, Barthez déclare[1] « qu'il n'est même pas possible de décider cette question, sur laquelle on n'a que des probabilités : si le principe vital de l'homme existe par lui-même, ou s'il n'est qu'un mode du corps humain vivant ; » sans doute les hésitations de son esprit sur cette grave question ont laissé de nombreuses traces dans les *Nouveaux éléments de la science de l'homme ;* mais il a définitivement considéré le principe vital comme une force indépendante, surajoutée à l'organisme, et, sur ce dernier point du moins, tous les vitalistes sont d'accord avec lui. Comment Barthez ne s'est-il pas aperçu qu'il agrandissait, dans des proportions démesurées, le cercle de l'action possible de l'homme, en lui reconnaissant la puissance de commander en autocrate à une *force indépendante*, de l'*expulser* complétement du corps d'un animal par une simple *dessiccation*, et de l'y *ramener* par une simple *hydratation ?*

L'étude des formes si diverses sous lesquelles la vie s'est manifestée à la surface du globe dans la

[1] *Nouveaux éléments de la science de l'homme.* 2e édition, tome I, page 83.

succession des temps est de nature à jeter un grand jour sur ces questions de biologie générale. Chaque grande époque géologique est caractérisée par une flore et une faune spéciales ; dans cette longue et incalculable série de siècles, les formes se modifient, changent, se perfectionnent ; mais, une fois commencé, le mouvement vital ne s'arrête plus et se continue sans interruption jusqu'à notre époque.

Dès que les conditions de lumière, de température, de composition de l'atmosphère et de distribution des eaux le permirent, la vie apparut sous sa double forme végétale et animale ; les géologues en ont retrouvé les traces dans les couches profondes des terrains *primaires*. Les premiers animaux, ces *eozoon* ou animaux de l'aurore, ne sont, à proprement parler, que des ébauches dont l'organisation rudimentaire ne peut être comparée qu'à celle de nos animaux les plus inférieurs, de nos Protozoaires. — Il faut arriver à la période *silurienne* pour voir apparaître les représentants des diverses classes des invertébrés. Vers la fin de cette période, l'organisation fait un grand pas ; les animaux vertébrés commencent à se montrer çà et là ; mais ce ne sont encore que des Poissons très-inférieurs et de petites dimensions. — Dans la période suivante, la *devonienne*, ces Poissons cartilagineux prennent un développement considérable ; mais la vie ne se manifeste encore que dans les grandes masses d'eau qui recou-

vraient presque toute la surface du globe. Pourtant, vers la fin de cette période, des Conifères et des végétaux cryptogames commencent à se montrer sur les terres émergées.

Vers la fin de cette époque de *transition*, dans le cours de la période *carbonifère*, l'aspect de la surface du globe éprouve un changement bien remarquable ; les plantes terrestres se développent avec une énergie prodigieuse qui ne s'est pas reproduite depuis. Sous l'influence de cette puissante végétation, la quantité d'acide carbonique diminue en même temps que la proportion d'oxygène augmente dans l'atmosphère épurée, les premiers animaux à respiration aérienne se montrent : ce sont des Mollusques pulmonés, quelques Insectes, enfin des Reptiles, dont quelques-uns, par leurs formes indécises, participent à la fois du type des Poissons et de celui des Batraciens, tandis que d'autres se rapprochent davantage des espèces les plus inférieures de la famille des Lézards ; malgré ces importantes modifications, la vie animale est bien loin d'atteindre le haut degré de développement de la vie végétale.

Pendant toute la durée de l'époque *secondaire*, les végétaux et les animaux continuent à se perfectionner, à s'élever dans l'échelle organique ; de nouveaux types de Mollusques, d'Insectes et de Poissons apparaissent et se multiplient. A la période de la *formation jurassique*, appartiennent les Reptiles les

plus remarquables par leurs grandes dimensions et leurs formes bizarres : les mégalosaures, dont la longueur atteignait 10 mètres ; les ichthyosaures et les plesiosaures, sauriens nageurs aux membres terminés par des palettes comme ceux des cétacés ; les ptérodactyles, reptiles volants, dont les membres antérieurs et postérieurs étaient réunis, comme chez les chauves-souris, par une large expansion membraneuse.—C'est aussi pendant cette *formation jurassique* qu'apparaissent les premiers représentants de la classe des Mammifères; ce sont des animaux très-rares et très-petits, appartenant aux genres de l'ordre le plus inférieur. — De son côté l'organisation végétale se perfectionne, les grandes Monocotylédones, Pandanées et Palmiers, en même temps que les Dicotylédones angiospermes se développent et se multiplient rapidement ; vers la fin de cette époque *secondaire*, les grandes classes du règne végétal et du règne animal sont représentées à la surface du globe ; les Oiseaux manquent cependant encore à la faune de ces temps reculés.

Pendant l'*époque tertiaire*, le travail de développement et de perfectionnement organique se continue d'une manière croissante et très-remarquable. Dans les terrains les plus inférieurs de cette époque on retrouve déjà des restes de végétaux dicotylédones appartenant à toutes les familles actuelles. La faune de ces terrains est très-riche, elle contient des Mar-

supiaux, des Pachydermes, des Rongeurs, des Carnassiers, des chauves-souris et même des Oiseaux qui sont enfin venus compléter le grand embranchement des Vertébrés. — Dans les terrains de la couche moyenne, la faune s'enrichit de beaucoup de genres nouveaux; les Carnassiers et les Herbivores atteignent partout de plus grandes dimensions que leurs prédécesseurs. Parmi les animaux terrestres qui peuplaient le centre et le sud de la France, nous nous contenterons de mentionner les rhinocéros, les énormes mastodontes et les gigantesques dinothériums. — Dans les terrains de la couche supérieure, on ne retrouve plus le dinothérium; cet animal s'est éteint après une existence relativement très-courte; le mastodonte se maintient en Amérique où il continue à vivre pendant l'*époque quaternaire*, tandis qu'il disparaît dans l'ancien monde et cède la place à de nouveaux genres plus semblables et même identiques à ceux de nos jours. L'hyène, l'ours et autres grands Carnassiers y sont très-multipliés, en même temps que les cerfs et les antilopes. — Longtemps l'existence des Quadrumanes pendant l'époque *tertiaire* a été contestée dans la science; aujourd'hui le doute n'est plus permis. Des ossements fossiles de singes ont été retrouvés en Europe, en Asie, en Amérique, dans les terrains de divers âges de l'*époque tertiaire*. — Nous ne pouvons terminer cette revue rapide et incomplète de la faune tertiaire, sans dire que des

découvertes récentes permettent de soupçonner que l'apparition de l'homme lui-même remonte à ces âges reculés.

Les types de la faune actuelle se retrouvent dans la faune de l'*époque quaternaire*, mais leurs représentants les plus remarquables par leurs grandes dimensions ont rapidement disparu et ne se sont pas propagés jusqu'à notre période moderne. Nous ne les connaissons que par leurs ossements découverts dans les cavernes et les brèches ossifères, en même temps que dans les dépôts de transport fluviatiles des vallées et des plaines. — Pendant l'époque *quaternaire*, de grandes troupes d'énormes éléphants (mammouth) et de rhinocéros habitaient notre Europe, en même temps que l'ours, l'hyène et le grand lion des Cévennes. De grands bœufs, le cerf gigantesque d'Irlande, le renne, etc., peuplaient les forêts; des hippopotames et de grands castors vivaient sur les bords des fleuves de nos contrées. — La faune de l'Amérique est caractérisée par l'existence simultanée de grands Pachydermes appartenant à l'ancien continent et de gigantesques Édentés; les tatous fossiles de l'Amérique méridionale étaient tous herbivores et remarquables par leurs grandes dimensions. La paléontologie a révélé un fait très-curieux; certainement le cheval quaternaire appartient à l'Amérique comme à l'Europe, mais à l'inverse de ce qui s'est passé pour le mastodonte à la fin de l'époque

tertiaire, tandis que cet animal s'est maintenu dans nos contrées, il s'est éteint de l'autre côté de l'Atlantique où il a reparu seulement après la conquête et par importation. — Pendant l'époque *quaternaire*, comme de nos jours, les Marsupiaux représentaient, dans l'Australie et ses grandes îles, tous les ordres des Mammifères monadelphes des autres pays ; mais ces Didelphes quaternaires sont remarquables par leurs grandes dimensions; le thylacoleo carnifex avait la taille du lion. — Les faunes quaternaires de la Nouvelle-Zélande et de Madagascar sont caractérisées par des Oiseaux *coureurs* de taille gigantesque. Le dinornis giganteus de l'île du Nord de la Nouvelle-Zélande n'avait pas moins de $3^{m},50$ de hauteur. Les fouilles exécutées à Madagascar y ont fait découvrir les restes et les œufs d'un oiseau plus grand encore; l'æpyornis maximus avait au moins 4 mètres de hauteur, et la capacité de ses œufs est six fois celle des œufs d'autruche.

Ainsi, à partir du moment de la première manifestation de la vie à la surface de la terre, en même temps que la croûte solide du globe était tourmentée par des bouleversements incessants, que la séparation des continents et des mers s'établissait, que le régime des eaux se régularisait, que les conditions atmosphériques de lumière, de chaleur, de composition de l'air se modifiaient profondément, le travail organique procédait, par voie de transformations successives

et de perfectionnements graduels, à la constitution du monde végétal et du monde animal tels que nous les voyons aujourd'hui. En général les formes bizarres des premiers âges ont rapidement disparu ; si quelques animaux très-inférieurs ont pu traverser cette longue suite de révolutions de toute nature, sans éprouver de notables modifications, ce sont des Protozoaires que leur organisation rudimentaire rend aptes à s'accommoder des conditions les plus diverses. — Dans cette incalculable série de siècles écoulés, bien des ébauches organiques se sont sans doute montrées qui n'ont pas pu arriver à un développement assez complet ou subsister assez longtemps pour laisser, dans les entrailles de la terre, des empreintes appréciables et qui, par cela même, nous resteront toujours inconnues. — La science est parvenue à rendre transparent le voile épais sous lequel s'est si longtemps cachée l'histoire des grands phénomènes dont la surface de notre planète a été le siége depuis l'époque de sa condensation dans l'espace à l'état de globe de feu. A travers le renouvellement incessant des formes, le travail organique a enfin abouti à la production de tous ces animaux supérieurs (Mammifères et Oiseaux) plus grands que leurs congénères actuels qui vivent dans les mêmes régions. Quand est survenue l'importante modification des climats qui marque la transition de l'époque *quaternaire* à l'époque *moderne*, les conditions d'existence étant

profondément changées, ces grands animaux ont presque tous péri, et la faune actuelle s'est définitivement constituée.

Les études de géographie botanique et zoologique nous ont révélé un autre fait d'une haute importance. A mesure que les climats actuels se sont plus nettement dessinés, la distribution des végétaux et des animaux à la surface du globe s'est profondément modifiée. Si certaines espèces, en effet, jouissent du privilége de pouvoir se développer dans les conditions les plus diverses et sont cosmopolites, d'autres, au contraire, en raison de la spécialité de leur organisation, ne peuvent prospérer que dans des conditions déterminées de température extérieure et, par suite, se trouvent confinées dans un espace limité. C'est ainsi que, pour parler seulement du règne animal, les grands Carnassiers se sont peu à peu retirés vers les régions les plus chaudes du globe, tandis que le renne qui, à la fin de l'époque *quaternaire*, descendait au sud jusqu'au pied des Pyrénées, est remonté vers les contrées polaires. L'influence prépondérante des climats est démontrée par ce fait important déjà signalé par Buffon, que la localisation des êtres vivants est d'autant plus complète que leurs facultés de locomotion sont plus bornées ; elle est nettement accusée par les migrations périodiques des oiseaux voyageurs aussi bien que par les difficultés, toujours considérables et trop souvent insur-

montables, que rencontrent les tentatives d'acclimatation des espèces exotiques.

De sa naissance à sa mort, l'être organisé reste soumis aux conditions mécaniques, physiques et chimiques de l'atmosphère qui l'enveloppe de toutes parts. Irrévocablement fixée au sol, la plante les subit, sans pouvoir ni se soustraire à ces influences si diverses, ni en modifier l'action. Doué de la faculté de locomotion, l'animal travaille, par tous les moyens possibles, à échapper à l'atteinte de celles de ces influences qui lui seraient nuisibles ; tantôt il se transporte au loin à la recherche de conditions meilleures ; tantôt il se réfugie derrière des abris naturels ou derrière ceux que lui fournit son industrie. La vie de l'animal se consume ainsi tout entière, non pas, comme on l'a trop souvent répété et comme on le dit tous les jours, dans une lutte soutenue contre les agents extérieurs, mais dans un effort incessant pour établir et maintenir les activités propres de l'organisme dans des rapports harmoniques avec les conditions du milieu ambiant. L'histoire des révolutions du globe, la paléontologie, l'étude des phénomènes dont tous les jours nous sommes témoins, proclament hautement cette harmonie comme la condition essentielle de l'existence des êtres organisés à la surface de la terre. Partout où les circonstances extérieures rendent impossibles ces rapports harmoniques, au sommet des hautes mon-

tagnes, sur les continents de la région circumpolaire, au milieu des sables brûlants de l'équateur, la vie végétale, comme la vie animale, s'éteint et disparaît ; là où l'accord est trop instable, trop précaire, la vie languit et ne se montre plus, pour ainsi dire, qu'exceptionnellement. C'est là seulement où cette harmonie est complète et respectée, que l'être organisé se développe en liberté, jouit de toute sa force et de la plénitude de la vie ; hors de là, c'est-à-dire dans la lutte ouverte contre les agents extérieurs, il n'y a que désordre, maladie, mort, destruction. Dans chacune des phases de leur existence, les espèces végétales et animales traduisent fidèlement, par le mode et l'intensité de leur développement, l'action des influences climatériques et météorologiques auxquelles rien ne saurait complétement les soustraire.

Depuis l'origine des temps historiques, aucun changement notable n'est survenu dans la constitution du règne végétal et du règne animal. Faut-il en conclure, avec quelques biologistes, qu'il s'est produit, vers la fin de l'époque quaternaire, un affaiblissement des forces sous l'influence desquelles s'accomplit le travail de développement organique ? Serait-il vrai que ce grand mouvement ascendant de l'organisation vers des types plus parfaits, dont la croute solide de notre planète conserve les preuves ineffaçables, s'est complétement et définitivement arrêté ? Faut-il admettre qu'avec notre époque mo-

derne, a commencé un état statique du monde organique, une période de simple conservation des formes acquises? Mais il y a à peine quelques milliers d'années que l'homme est parvenu à asseoir assez solidement sa domination sur le monde extérieur pour pouvoir conserver des traces de ses observations; on trouvera sans doute qu'il serait au moins prématuré de tirer des conclusions aussi graves, aussi absolues de faits recueillis dans un aussi court espace de temps.

D'ailleurs, est-il donc nécessaire d'invoquer un affaiblissement de forces organiques, dont rien ne prouve la réalité, pour comprendre comment a pu se produire cette espèce de temps d'arrêt sur lequel on a tant insisté, et dont il serait bien facile de trouver des exemples dans l'histoire des époques antérieures? — Les recherches entreprises depuis le commencement du siècle démontrent que, si la proportion des trois principes fondamentaux de l'air (oxygène, azote, acide carbonique) ne sont pas rigoureusement constantes, elles n'éprouvent que des oscillations comprises dans des limites extrêmement restreintes. Le développement et la distribution des êtres organisés sont arrivés, depuis longtemps, à un état tel, que l'action comburante des animaux contrebalance l'action réductrice des végétaux; de la simultanéité de ces deux activités de sens contraires résulte l'équilibre mobile dans lequel se maintient

la composition de l'air atmosphérique. — D'autre part, il est aujourd'hui parfaitement établi que l'intensité de la radiation solaire n'a pas sensiblement varié depuis l'origine des temps historiques, et que, par suite, les conditions de lumière et de chaleur à la surface de la terre sont aujourd'hui les mêmes qu'à ces époques reculées. — Du moment où l'action des influences extérieures est restée sensiblement constante, il n'y a pas lieu de s'étonner si le monde organique n'a pas éprouvé de notables modifications ; loin d'accuser un affaiblissement des forces mises en jeu dans le travail de développement des êtres vivants, cette permanence de la constitution de la flore et de la faune modernes prouve, au contraire, que ces forces n'ont rien perdu de leur énergie primitive.

« Mais, dit M. Helmholtz[1], les mêmes forces de l'air, de l'eau, des volcans, qui ont causé les anciennes révolutions géologiques et qui ont enfoui de nombreuses existences les unes après les autres, ces mêmes forces agissent encore. » Si, sous leur puissante influence, des changements aussi profonds que ceux dont les époques *tertiaire* et *quaternaire* ont été témoins venaient à se produire dans les conditions extérieures, il est permis d'affirmer que ces perturbations seraient traduites par des modifications correspondantes du monde organique. »

[1] *Mémoire sur la conservation de la force.* Traduction de M. Pérard. Paris, 1869, page 55.

Que l'on concentre son attention sur un germe ou que l'on considère un être vivant en pleine activité, la conclusion est toujours la même. Les manifestations vitales sont possibles seulement là où existe une certaine harmonie entre un agrégat organique et le milieu ambiant ; dans tous ces phénomènes, il n'y a pas trace de l'intervention d'une force indépendante, créatrice, directrice, surajoutée. Du moment où cette harmonie nécessaire est réalisée, le travail de développement commence et continue, fatalement et sans interruption, dans une direction qui dépend à la fois des conditions intérieures de composition et de texture de l'agrégat organique, et des conditions extérieures du milieu ambiant.

CONCLUSION

Nous avons vu un échange incessant de matière et de force s'établir entre l'être organisé et le monde extérieur. — Le végétal emprunte au règne minéral les matériaux avec lesquels il fabrique les substances organiques, et au soleil la force nécessaire pour l'accomplissement de son travail intérieur; sans rien perdre de son énergie, cette force devient affinité chimique dans ces substances organiques, toutes combustibles. — A son tour, l'animal emprunte à la plante des principes alimentaires qu'il brûle, et ramène à l'état minéral avant de les rendre au monde extérieur. Les réactions chimiques effectuées au moment où s'opère la combustion de ces principes alimentaires, de ces substances organiques, dans la trame des capillaires généraux sont la véritable et unique source de toute la force dont l'animal peut disposer.

Nous avons vu que, dans l'animal, chaque élément histologique a une activité propre, et que ces diverses

activités, dont la spécialité dépend de la spécialité de composition et de texture de l'élément histologique considéré, dérivent toutes des réactions chimiques accomplies dans les profondeurs de l'organisme, au moment du conflit de l'oxygène et des matériaux combustibles du sang. — L'activité développée par un tissu, un organe, un appareil n'est en réalité que la *résultante* des activités propres de ses éléments histologiques constituants.

Nous vu enfin que le travail de développement d'un organisme quelconque est profondément influencé par les conditions mécaniques, physiques et chimiques du milieu ambiant.

De ce point de vue qui nous permet d'embrasser le règne organique dans toute son étendue, la vie ne nous apparaît plus comme une force, comme une cause, mais comme un simple effet. A quelque période de son développement normal qu'on le considère, l'être vivant est un organisme complet dont l'activité s'exerce sous l'influence d'un milieu approprié.

DOCUMENTS

Sous la dénomination commune de Documents, nous réunissons ici des extraits des principaux Mémoires cités dans notre travail; ces données expérimentales sont les pièces justificatives des considérations et des doctrines que nous avons développées.

I

CIRCULATION DE LA MATIÈRE (page 22).

A. *Végétaux.* — Nous avons dit que les plantes puisent dans l'air et dans le sol tous les éléments nécessaires à la constitution de leurs tissus et de leurs sucs propres.

Composition de l'air. Il résulte des recherches de MM. Dumas et Boussingault[1] que l'air atmosphérique contient :

[1] *Annales de chimie et de physique.* IIIe série, 1841. Tome III, page 257.

	EN POIDS	EN VOLUME
Oxygène.	230,2	208
Azote.	769,8	792
Air.	1000,0	1000

L'air contient en outre des quantités très-variable de vapeur d'eau, de 4 à 6 *dix millièmes* d'acide carbonique et des *traces* d'ammoniaque.

Terres arables. — M. Boussingault[1] a déterminé les quantités d'azote, d'ammoniaque et de nitrates contenues dans des terres arables de diverses provenances.

TERRES	DANS UN HECTARE			
	AZOTE	AMMONIAQUE calculée d'après l'azote dosé	AMMONIAQUE calculée d'après l'ammoniaque dosée	NITRATES exprimés en nitrate de potasse
Bischwiller. . . .	14755kil	17917kil	100kil	7630kil
Liebfrauenberg. . .	12970	15806	100	875
Bechelbronn. . . .	6985	8482	45	75
Herbage d'Argentan	25650	31146	300	250
Rio Madeira. . . .	7140	8670	450	20
Rio Trombetto. . .	5955	7231	185	5
Rio Negro.	3440	4177	190	5
Sarranca.	9100	11050	210	»
Santarem.	32450	39404	415	55
Cupari.	34250	41589	2875	»
Iles du Salut . . .	27170	32421	400	3215
Martinique.	5590	6788	275	950

[1] *Agronomie, Chimie agricole et physiologie.* Paris, 1861. Tome II, page 21.

Eaux. — Il résulte des travaux de M. Boussingault[1] que l'ammoniaque, soit libre, soit combinée avec les acides carbonique et nitrique, existe dans les eaux de source, de rivière et de pluie, dans la neige, la rosée et les brouillards.

Origine des éléments organiques des plantes. — M. Boussingault[2] a publié deux mémoires importants d'où il résulte que les plantes n'assimilent pas le gaz azote libre de l'air. Les recherches entreprises en Angleterre[3] établissent aussi qu'il n'est pas possible de constater l'indice d'une assimilation par la plante de l'azote qui est à l'état gazeux dans l'atmosphère.

Les éléments des substances organiques de la plante sont donc fournis par l'acide carbonique, l'eau, l'ammoniaque et les azotates de l'air et du sol. Il est important de mettre en regard la composition élémentaire de ces divers corps, telle que les analyses les mieux faites, les plus exactes l'ont établie.

Equivalents.	Hydrogène. . . .	H	= 1
	Oxygène.	O	= 8
	Carbone.	C	= 6
	Azote.	Az	= 14

Composition de l'Eau. — M. Dumas[4] a déterminé la

[1] *Loco citato*, tome II, page 170 à 243.
[2] *Loco citato*, tome I, pages 1 et 65.
[3] *Loco citato*, tome II, page 347.
[4] *Annales de chimie et de physique*. IIIe série, 1843. Tome VIII, page 189.

composition de l'eau, en opérant la synthèse de ce liquide. Il résulte de ses recherches que :

L'Eau HO contient. . . .	Hydrogène. . .	1	11,11
	Oxygène. . . .	8	88,89
		9	100,00

Composition de l'Acide Carbonique. — La composition de l'acide carbonique a été étudiée par MM. Dumas et Stas[1]. Ces recherches ont établi que :

L'Acide carbonique CO^2 contient	Carbone.	6	27,27
	Oxygène.	16	72,73
		22	100,00

Composition de l'Ammoniaque. — L'expérience prouve que *trois* volumes d'hydrogène, en se combinant avec *un* volume d'azote, produisent *deux* volumes de gaz ammoniac ; d'où résulte que :

Le Gaz ammoniac AzH^3 contient	Hydrogène.. . .	3	17,61
	Azote..	14	82.39
		17	100,00

Composition des principales matières ternaires des plantes. — Nous diviserons ces matières ternaires en trois groupes. — Tous ces corps peuvent être considérés comme produits par la combinaison du carbone avec l'eau ; on les a désignés sous le nom d'*Hydrates de carbone.*

[1] *Annales de chimie et de physique.* IIIe série, 1841. Tome I, page 5.

1° *Glucoses.* — Dans ce premier groupe nous trouvons la *Glucose* ou sucre de raisin, la *Lévulose* ou sucre de fruits incristallisable, et la *Sorbine*, matière sucrée du jus du sorbier ; leur composition est représentée par la formule :

$$C^{12} H^{12} O^{12} = C^{12} + 12 HO$$

2° *Saccharoses.* — Ce groupe contient la *Saccharose* ou sucre de canne, la *Mélitose*, matière sucrée qu'on rencontre dans une manne provenant de différentes espèces d'*Eucalyptus* originaires de la terre de Van-Diemen, la *Mélézitose* extraite de la manne de Briançon, la *Tréhalose* ou *Mycose*, matière sucrée extraite du seigle ergoté et d'une manne d'Orient connue sous le nom de *tréhala*. Leur composition est représentée par la formule :

$$C^{24} H^{22} O^{22} = C^{24} + 22 HO$$

3° *Amyloses.* — Dans ce dernier groupe se trouvent l'*Amidon*, le *Paramylon* extrait d'un infusoire, l'*Euglena viridis*, la *Lichénine* extraite de plusieurs espèces de lichen et de mousses et que l'action de l'eau bouillante transforme en gelée, la *Dextrine*, l'*Inuline* très-répandue dans le règne végétal, les *Gommes*, la *Cellulose*. Leur composition est représentée par la formule :

$$C^{12} H^{10} O^{10} = C^{12} + 10 HO$$

Composition des principales matières quaternaires des plantes. — La farine de froment contient de

l'*Amidon*, de l'*Albumine* et du *Gluten*. En traitant le gluten par l'alcool faible, on obtient de la *Fibrine*, de la *Caséine* et de la *Glutine*. MM. Dumas et Cahours[1] ont analysé ces quatre substances azotées fournies par la farine; sous le nom d'oxygène on comprend, dans ces analyses, l'oxygène et le soufre ou le phosphore qui entrent dans la composition de ces matières :

	FIBRINE	ALBUMINE	CASÉINE	GLUTINE
Carbone. . .	53,23	53,74	53,46	53,27
Hydrogène. .	7,01	7,11	7,13	7,17
Azote. . . .	16,41	15,65	16,04	15,94
Oxygène, etc.	23,55	23,50	23,37	23,62
	100,00	100,00	100,00	100,00

Dans le même travail, MM. Dumas et Cahours ont étudié la composition de deux autres substances azotés qu'on trouve dans les plantes, l'*Amandine* et la *Légumine*.

AMANDINE	D'AMANDES DOUCES	D'AMANDES DOUCES	D'AMANDES DOUCES	D'AMANDES DE PRUNES	D'AMANDES D'ABRICOTS	DE MOUTARDE BLANCHE	DE NOISETTES
Carbone. .	50,90	50,93	50,80	50,93	50,72	50,83	50,73
Hydrogène.	6,72	6,70	6,71	6,73	6,65	6,72	6,95
Azote. . .	18,93	18,77	18,80	18,64	18,78	18,58	18,76
Oxygène. .	23,45	23,60	23,69	23,70	23,85	23,87	23,56
	100,00	100.00	100,00	00,00	100,00	100,00	100,00

[1] *Annales de chimie et de physique*. IIIe série. 1842. T. VI, p 385.

LÉGUMINE	DE POIS	DE LENTILLES	DE HARICOTS
Carbone.	50,53	50,46	50,69
Hydrogène.	6,91	6,65	6,81
Azote.	18,15	18,19	17.58
Oxygène, etc. . . .	24,41	24,70	24,92
	100,00	100,00	100,00

Cendres des végétaux. — La plante emprunte au sol, par ses racines, une quantité énorme d'eau qui la traverse et s'évapore à la surface des feuilles. Toutes les substances minérales entraînées par l'eau restent dans la plante, qui les rend au sol quand elle meurt sur place. Lorsqu'on brûle la plante, ces matières minérales empruntées au sol se retrouvent dans les cendres. « Toutes les parties d'un végétal, dit M. Boussingault, donnent, en proportions d'ailleurs fort diverses, un semblable résidu. A poids égal et au même degré de dessiccation, les plantes herbacées laissent plus de cendres que les végétaux ligneux. Dans un arbre, le tronc en donne plus que les branches, et ces dernières moins que les feuilles. » On trouve dans l'*Économie rurale* de M. Boussingault [1], une étude très-détaillée et très-complète de la composition des cendres des divers végétaux. — Pour montrer combien est grande l'influence du sol sur la composition des cendres, il nous suffira de citer

[1] *Économie rurale*. 2e édition. Paris, 1851. Tome I, page 86.

les trois exemples suivants empruntés au travail de MM. Malaguti et Durocher[1]. — 100 de cendres contenaient en chaux :

	SOL CALCAIRE	SOL NON CALCAIRE
Brassica oleracea.	27,98	13,62
— napus.	43,60	19,48
Trifolium pratense..	43,32	29,72
— incarnatum.	36,18	26,68
Scabiosa arvensis.	28,60	17,16
Allium porrum.	22,61	11,41
Dactylis glomerata..	6,24	4,62

La proportion pour 100 d'acide sulfurique était :

	SOL ARGILEUX	SOL CALCAIRE
Brassica oleracea.	4,63	3,56
— napus.	7,19	4,20
Trifolium pratense.	3,86	3,05
— incarnatum.	3,05	1,74
Scabiosa arvensis.	3,70	2,65

Pour la potasse et la soude les résultats furent les suivants :

		Brassica napus	Trifolium pratense	Trifolium incarnatum	Allium porrum	Quercus pedunculi.
Sol calcaire..	Soude. .	5,56	4,80	13,80	2,26	2,18
	Potasse. .	12,34	9,60	19,11	40,23	11,60
Sol argileux.	Soude. .	3,00	1,60	4,80	2,00	traces
	Potasse. .	25,42	27,20	28,74	42,44	19,83

Ces substances minérales se déposent dans les tissus des plantes, sous des formes extrêmement va-

[1] *Annales des sciences naturelles.* 1818. Tome IX, page 230.

riables. D'après les recherches de M. Jacquelin, la chaux est la plus répandue de ces matières fixes empruntées au sol ; elle est le plus souvent combinée avec l'acide pectique.

B. *Animaux*. — Les animaux empruntent aux plantes les éléments organiques de leurs tissus. A l'appui de cette proposition, il nous suffira de rapprocher la composition des principales matières ternaires et quaternaires des animaux de celle des substances congénères fournies par les plantes.

Matières ternaires. — On retrouve dans les animaux les trois genres de matières ternaires que nous avons signalées dans les plantes.

L'*Inosite*, substance extraite du suc musculaire, a été rencontrée aussi dans les poumons, les reins, la rate, le foie, et dans quelques urines pathologiques; sa composition est représentée par la formule :

$$C^{12} H^{12} O^{12}$$

On obtient aussi un corps de même composition appelé *Galactose*, quand on fait bouillir la *Lactose* avec de l'acide sulfurique très-étendu.

La *Lactose*, ou sucre de lait, a pour formule :

$$C^{24} H^{22} O^{22} + H^{2} O^{2}$$

La *Tunicine* a été signalée dans le manteau des tuniciens; la *Zoo-Amyline*, ou matière glycogène, a été extraite du foie et du placenta et entre dans la

constitution des cellules de certains animaux. La formule chimique de ces deux substances, identique à à celle de la cellulose, est :

$$C^{12} H^{10} O^{10}$$

Matières quaternaires. MM. Dumas et Cahours[1] ont déterminé la composition des principales matières quaternaires qui entrent dans la constitution du corps des animaux.

ALBUMINE	DU SÉRUM DE MOUTON	DU SÉRUM DE BŒUF	DU SÉRUM DE VEAU	DU SÉRUM D'HOMME	DU BLANC D'ŒUF
Carbone. . .	53,54	53,40	53,49	53,52	53,57
Hydrogène. .	7,08	7,20	7,27	7,29	7,10
Azote. . . .	15,82	15,70	15,72	15,70	15,77
Oxygène, etc.	23,56	23,70	23,52	23,69	23,76
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

FIBRINE	DU SANG DE MOUTON	DU SANG DE VEAU	DU SANG DE BŒUF	DU SANG DE CHEVAL	DU SANG DE CHIEN	DE CHIEN NOURRI 2 MOIS ET DEMI AVEC DE LA VIANDE	DE CHIEN NOURRI 2 MOIS ET DEMI AVEC DU PAIN	DU SANG D'HOMME
Carbone.. .	52,80	52,50	52,70	52,67	52,74	52,77	52,57	52,78
Hydrogène..	7,00	7,00	7,00	7,00	6,92	6,95	7,07	6.96
Azote. . . .	16,50	16, 0	16,60	16,65	16,72	16,51	16,55	16,78
Oxygène, etc	23,70	24,00	23.70	23,70	23,62	23,77	23,81	23,48
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

[1] *Annales de chimie et de physique.* IIIe série. 1842. Tome VI, page 385.

CASÉINE	DU LAIT DE VACHE	DU LAIT DE CHÈVRE	DU LAIT D'ANESSE	DU LAIT DE BREBIS	DU LAIT DE FEMME	DU SANG
Carbone.	53,50	53,60	53,66	53,52	53,47	53,75
Hydrogène. . . .	7,05	7,11	7,14	7,07	7,13	7,09
Azote.	15,77	15,78	16,00	15,80	15,83	15,87
Oxygène, etc. . .	23,68	23,51	23,20	23,61	23,57	23,29
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

	GÉLATINE	CHONDRINE	VITELLINE	PROTÉINE
Carbone.. . .	50,99	50,61	51,60	54,37
Hydrogène. .	7,07	6,58	7,22	7,12
Azote.. . . .	18,72	14,44	15,02	15,93
Oxygène. . .	23,22	28,37	26,16	22,58
	100,00	100,00	100,00	100,00

M. Mudler a donné le nom de *protéine* à la matière quaternaire pure qui fait partie de l'albumine et de la caséine, et qui s'y trouve unie à du soufre ou à du phosphore.

Origine des substances minérales du système osseux. — M. Boussingault a fait une très-belle série de recherches[1] à l'effet de déterminer pour quelle part les substances alimentaires solides et les boissons fournissent les matières minérales du système osseux

[1] *Annales de chimie et de physique*. IIIe série. 1846. Tome XVI, page 486.

des animaux. Il a étudié le développement de la charpente osseuse des porcs à diverses époques de leur développement, et en même temps la composition des aliments qu'ils consommaient.

COMPOSITION DE LA CENDRE D'OS DE PORCS.

	Nouveau-né.	Agé de 8 mois.	Agé de 11 mois et demi.
Chaux	49,3	51,8	53,0
Magnésie	5,2	1,7	1,8
Acide phosphorique	45,0	43,7	44,8
Acide carbonique	0,1	1,2	»
Sels alcalins	0,4	1,6	0,4
	100,0	100,0	100,0

Il résulte de cette composition des cendres des os que le système osseux contient :

	ACIDE PHOSPHORIQUE	CHAUX
Chez le porc nouveau-né	9gr	10gr
Chez le porc de 8 mois	591	701
Assimilation en 8 mois	582	691
Assimilation par jour	2,4	2,8

Dans cette première période de développement très-rapide, la nourriture variée et abondante renfermait bien au delà des quantités d'acide phosphorique et de chaux fixées dans l'organisme.

M. Boussingault a soumis un porc de huit mois à un régime composé exclusivement de pommes de terre et d'eau ; cette alimentation a duré 93 jours, trois mois et trois jours ; il résulte de ses analyses que le système osseux du Porc contient :

	ACIDE PHOSPHORIQUE	CHAUX
Chez le porc de 8 mois.	591gr	701
Chez le porc de 11 mois 3 jours.	711	841
Assimilation en 93 jours.	120	140
Assimilation par jour.	1,3	1,5

Dans cette seconde période, le développement du système osseux a été beaucoup moins rapide que dans les premiers huit mois de l'existence de l'animal.

Or, les 544 kilogrammes de pommes de terre consommées dans ces quatre-vingt-treize jours contenaient :

Acide phosphorique.	615gr
Chaux.	98

Les matières solides ingérées ont pu fournir amplement tout l'acide phosphorique nécessaire au développement du système osseux ; mais l'animal a, fixé dans ses os, 42 grammes de chaux de plus que n'en contenaient les pommes de terre consommées. M. Boussingault a fait voir que ces 42 grammes de chaux, ainsi que toute la chaux contenue dans les excréments, ont été fournis à l'animal par l'eau bue pendant ces quatre-vingt-treize jours.

On voit par ces expériences que les substances salines dissoutes dans l'eau jouent un rôle important dans l'alimentation qui, sans leur concours, serait insuffisante pour fournir les matériaux nécessaires au développement normal et régulier du système osseux. A une époque où l'on s'occupe sérieusement

du choix des eaux destinées à l'alimentation des grandes villes, les hygiénistes doivent ne jamais perdre de vue les résultats si remarquables des recherches expérimentales de M. Boussingault.

Origine des matières grasses du corps des animaux. — Dans la séance du 13 février 1843[1], MM. Dumas, Boussingault et Payen communiquèrent à l'Académie des sciences les résultats de leurs recherches sur l'engraissement. « Les recherches dont nous allons exposer le précis, disaient-ils, tendent à établir que *les matières grasses ne se forment que dans les plantes ; qu'elles passent toutes formées dans les animaux*, et que, là, elles peuvent se brûler immédiatement pour développer la chaleur dont l'animal a besoin, et se fixer, *plus ou moins modifiées*, dans les tissus pour servir de réserve à la respiration. » Leur mémoire se terminait par les considérations suivantes : « Nous savons parfaitement que la chimie est parvenue à transformer des corps, tels que l'*amygdaline*, en *huile* d'amandes amères, acide cyanhydrique, etc. ; nous savons qu'elle a pu convertir la *salicine* en *huile* de reine des prés, acide carbonique, etc., et nous croyons que, par de tels dédoublements, dans des circonstances particulières, certaines matières végétales pourraient fournir des corps gras à la chimie ; mais jusqu'ici *aucun des phénomènes de*

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* 1843. Tome XVI. page 345.

l'économie des animaux supérieurs ne nous a donné lieu de penser que de tels faits fussent de nature à jouer un rôle dans la digestion, dans la formation du chyle, dans la production de leur lait ou dans les phénomènes qui se passent pendant leur engraissement.»

Accueillie avec défiance par les physiologistes, cette théorie si exclusive de l'origine des graisses animales fut combattue avec beaucoup de force par M. Liebig qui déjà avait professé que, dans le corps des animaux, les *hydrates de carbone* peuvent se transformer en matières grasses.

Dans la séance du 18 septembre 1843, MM. Dumas et Milne Edwards[1] communiquèrent à l'Académie des sciences leurs recherches sur la production de la *cire* des abeilles. — Nourries exclusivement avec du miel dans une ruche fermée, les abeilles avaient travaillé. L'analyse du miel consommé, des abeilles elles-mêmes au commencement et à la fin de l'expérience, et des gâteaux formés par elles, avait fourni les résultats suivants :

La matière grasse préexistante dans le corps de chaque abeille était de.	0gr,0018	
La matière grasse, consommé par chaque abeille pendant l'expérience, était de. .	0 ,0038	
Or la cire produite, pendant l'expérience, par chaque abeille, s'élevait à.		0gr,0064
Et la matière, contenue dans chaque abeille à la fin de l'expérience, était de. . . .		0 ,0042
	0gr,0056	0gr,0106

[1] *Comptes rendus de l'Acad. des sciences.* 1843, t. XVII, p. 531.

Dans le cours de l'expérience, chaque abeille avait donc *produit* $0^{gr},0106 - 0^{gr},0056 = 0^{gr},0050$ de matière grasse.

De cette mémorable expérience MM. Dumas et Milne Edwards tirèrent la conclusion suivante :

« La production de la cire constitue donc une véritable sécrétion animale ; et, à cet égard, l'opinion des anciens naturalistes et des quelques chimistes modernes, au nombre desquels l'un de nous avait cru devoir se ranger, doit être rejetée. La belle observation de Huber, sur la *conversion du sucre en cire*, se trouve au contraire confirmée, et nous nous estimons heureux d'avoir été les premiers à faire disparaître les doutes qui nous empêchaient d'adopter les résultats de cet habile expérimentateur et les conséquences qui en découlent. »

La conversion des hydrates de carbone en matière grasse dans le corps des animaux était désormais démontrée. Bientôt M. Boussingault[1] et M. Persoz[2] apportèrent de nouveaux faits à l'appui de ce principe de physiologie. — M. Boussingault a étudié avec beaucoup de soin et de persévérance cette question de l'engraissement[3] dans ses recherches sur l'alimentation des bêtes à cornes, des porcs et des oies;

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* 1845. Tome XX, page 1726.

[2] *Même recueil.* 1845. Tome XXI, page 20.

[3] *Économie rurale.* 2e édition. Paris, 1851. Tome II, pages 528, 561, 604.

il a montré qu'outre les matières saccharoïdes et amylacées, les éléments alimentaires albuminoïdes peuvent aussi être transformés en graisse; il a formulé ainsi qu'il suit les conclusions de ses importants travaux[1] :

« Cette expérience montre avec quelle facilité est assimilée la graisse d'une ration complète, et s'il est incontestable qu'un régime suffisant azoté, *bien que dépourvu de matières grasses*, engraisse néanmoins les animaux qui le consomment : on doit aussi convenir que la nourriture propre à l'engraissement le plus rapide et le plus prononcé est précisément celle dans laquelle une dose convenable de substances albuminoïdes est réunie à la plus forte proportion de principes gras. Quant à la graisse développée dans les animaux nourris avec des aliments qui n'en renferment qu'une quantité minime, il faut nécessairement l'attribuer, *soit aux matières azotées*, *soit à l'amidon ou au sucre*. Cependant, quand on considère que ces aliments sont alors constamment riches en principes albuminoïdes, et que le carbone de ces principes est toujours supérieur au carbone de la graisse développée, on est porté à leur attribuer l'origine de cette graisse. Il me serait facile de signaler plusieurs régimes engraissants, dans lesquels l'albumine, le caséum, la légumine semblent jouer le rôle

[1] *Loco citato*. Tome II, page 616.

de corps gras, et je ne connais pas une seule ration employée en pratique, dans laquelle l'amidon ou le sucre soient unis à une faible proportion de ces mêmes substances. Lorsque, dans un régime d'engraissement, *les matières azotées ne surabondent pas, on peut être certain d'y trouver la graisse toute formée.* Ces observations paraissent encore corroborées par la facilité avec laquelle les substances azotées des aliments se modifient en acides gras. Ainsi M. Wurtz a reconnu que, sous l'influence des alcalis et de la chaleur ou par suite d'une altération spontanée, l'albumine donne naissance à de l'acide butyrique. En répétant sur l'albumine extraite du maïs les expériences de M. Wurtz, j'ai obtenu en effet un acide volatil dont l'odeur a la plus grande analogie avec celle de l'acide butyrique. — Au reste, tous les faits recueillis sur l'engraissement des animaux paraissent s'accorder pour assigner aux substances alimentaires azotées la faculté de développer la graisse, en remplaçant en quelque sorte les matières grasses de la nutrition. »

II

CONSTANCE DE LA COMPOSITION DE L'AIR ATMOSPHÉRIQUE

(page 28.)

Dans notre article *Atmosphère*[1], nous avons analysé tous les travaux publiés sur la composition de l'air atmosphérique. Nous devons nous contenter de rapporter ici les résultats qui indiquent les limites extrêmes entre lesquelles ont varié les proportions de ses deux principaux éléments, l'oxygène et l'acide carbonique.

Oxygène. — Sur 10000 parties d'air, *en poids*, la proportion d'oxygène a varié entre 2258 et 2314, différence 56. — Le minimum a été constaté par M. Lewy, dans l'air recueilli par lui, en août 1851, sur la mer du Nord; le maximum a été constaté à la fois par M. Stas, à Bruxelles, et par M. Lévy dans un échantillon recueilli à la Guadeloupe.

Sur 10000 parties d'air, *en volume*, la proportion d'oxygène a varié entre 2038,8 et 2120, différence 81,2. — Le minimum a été fourni par l'air recueilli, en mars 1849, sur le Gange; à ce sujet, nous ferons remarquer que, dans le port d'Alger, la

[1] *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales.* Paris, 1867. Tome VII, page 111.

proportion d'oxygène est tombée à 2040,7 en juin 1851, et qu'en février 1849, dans le golfe du Bengale, elle s'est abaissée à 2055,6. — Le maximum a été constaté à Paris par M. Doyère, en 1848; ajoutons enfin qu'à Bogota, d'après les analyses de M. Lévy, la proportion d'oxygène s'est élevée à 2105,9.

Acide carbonique. — Les résultats suivants sont rapportés à 10000 parties d'air, *en volume.*

Conformément aux résultats obtenus par de Saussure, M. Boussingault a constaté qu'à Paris, la proportion moyenne d'acide carbonique est 3,9, pendant le jour et s'élève à 4,2 pendant la nuit; en présence des nombreuses variations que présentent les observations partielles, des recherches plus variées et plus étendues seraient nécessaires pour établir définitivement l'augmentation nocturne de la proportion d'acide carbonique.

M. Boussingault a analysé deux prises d'air effectuées simultanément à Paris et à Saint-Cloud; il a trouvé 4,13 d'acide carbonique à Saint-Cloud et 4,14 à Paris. — En 1844, MM. Boussingault et Lévy ont fait trois séries d'observations du 29 septembre au 10 octobre; chaque fois on a opéré : à Paris, au Collége de France, et à Andilly, près Montmorency. Ces expériences ont donné les moyennes suivantes : proportion d'acide carbonique à Paris 3,172, à Andilly 2,989. — Ajoutons enfin que

19 analyses d'air pris à la campagne, en Alsace, pendant les mois d'octobre, novembre et décembre 1839, de février et mars 1840, par une saison rigoureuse, ont donné à M. Boussingault les résultats suivants : proportion moyenne d'acide carbonique 3,69, minimum 2,57, maximum 4,94. — Ces résultats rapprochés de ceux de Théodore de Saussure tendent à établir que l'air des grandes villes contient un peu plus d'acide carbonique que l'air des campagnes.

Du 1er au 31 décembre 1847, entre le Havre et le port de Santa-Marta de la Nouvelle-Grenade, M. Lévy a exécuté en mer onze prises d'air et a obtenu les résultats suivants : proportion moyenne générale d'acide carbonique 4,63; pendant la nuit, la proportion moyenne est tombée à 3,46, pendant le jour elle s'est élevée à 5,30. Contrairement aux résultats obtenus par Théodore de Saussure à Genève et par M. Boussingault à Paris, la proportion d'acide carbonique, sur l'Atlantique et sur la mer des Antilles, est donc plus considérable le jour que la nuit; cette augmentation diurne, signalée par M. Lévy, doit évidemment être attribuée à un dégagement des gaz dissous dans les eaux de la mer dû à l'échauffement de ces eaux pendant le jour.

Il résulte des analyses exécutées par M. Lévy sur le plateau de Bogota que, par un ciel couvert pendant la saison des pluies, la proportion moyenne

d'acide carbonique était 3,82, tandis que, par un ciel découvert, pendant la belle saison, la moyenne s'élevait à 4,57. Ces recherches s'accordent avec les observations de Théodore de Saussure aux environs de Genève pour établir qu'à la suite des grandes pluies, la proportion d'acide carbonique est plus faible dans l'atmosphère.

Pendant son séjour à Bogota, M. Lévy a constaté un fait d'une haute importance. — Du 7 mai au 1er septembre 1848, la proportion moyenne d'acide carbonique ne dépassa pas 4,39. — Du 1er au 9 septembre, la proportion moyenne monta à 19,79, et, dans la journée du 3 septembre, la proportion s'éleva au chiffre énorme de 49,04; pendant tout ce temps, la proportion moyenne d'oxygène se maintint un peu *au-dessus* de la moyenne. — Le 10 septembre, la proportion d'acide carbonique tomba à 4,68 et redevint normale. — Cette perturbation passagère si considérable accuse évidemment l'intervention de causes générales et très-puissantes, dont la nature est inconnue et mériterait d'être recherchée avec soin.

III

NATURE ET ÉQUIVALENT MÉCANIQUE DE LA CHALEUR

(page 53.)

L'idée de considérer la chaleur comme le résultat des vibrations des dernières particules des corps n'est pas nouvelle dans la science. — Dans le vingtième aphorisme du second livre du *Novum Organum*, Bacon déduit, de l'analyse de quelques phénomènes naturels, que la chaleur (considéré en elle-même et non pas relativement à nos sensations) est *un mouvement expansif, qui s'opère dans les molécules des corps ; un mouvement du centre à la circonférence* qui se fait *sans lenteur* avec *une certaine rapidité et même de l'impétuosité.* — Dans son premier discours sur les météores[1], Descartes s'exprime ainsi : « Je suppose premièrement que l'eau, la terre, l'air et tous les autres corps qui nous environnent, sont composés de plusieurs petites parties de diverses figures et grosseurs, qui ne sont jamais si bien arrangées, ni si justement jointes ensemble, qu'il ne reste plusieurs intervalles autour d'elles, et que ces intervalles ne sont pas vides, mais remplis de cette *matière fort*

[1] *Œuvres de Descartes*, publiés par Victor Cousin. Paris, 1824. Tome V, pages 159, 160, 162, 172.

subtile, par l'entremise de laquelle j'ai dit ci-dessus que se *communiquait l'action de la lumière*... De plus il faut penser que cette matière subtile qui remplit les intervalles qui sont entre les parties de ces corps est *de telle nature*, qu'elle ne cesse jamais de se *mouvoir çà et là grandement vite*... Pour *le chaud et le froid*, il n'est point besoin de concevoir autre chose, sinon que les petites parties des corps que nous touchons, *étant agités plus ou moins fort que de coutume*, soit par les petites parties de cette matière subtile, soit par telle autre cause que ce puisse être, agitent plus ou moins les petits filets de ceux de nos nerfs qui sont les organes de l'attouchement; et que, lorsqu'elles les agitent plus fort que de coutume, cela cause en nous le sentiment de la chaleur, au lieu que, lorsqu'elles les agitent moins fort, cela cause le sentiment de la froideur. Et vous pourrez connaître par expérience que c'est en cette agitation des petites parties des corps terrestres que consiste la chaleur. »

Dans son *Traité de la Lumière*, Huygens dit, avec cette supériorité de vues qui éclate à chaque page de ses écrits : « Omnium effectuum naturalium causæ concipiuntur per rationes machanicas, nisi velimus omnem spem objicere aliquid in physicis intelligendi. »

Newton, dans la Ve question du troisième livre de son *Optique*, parle de l'action réciproque des

corps et de la lumière; il s'exprime ainsi : « Les corps et la lumière n'agissent-ils pas mutuellement l'un sur l'autre, c'est-à-dire les corps sur la lumière, en la répandant de tous côtés, la réfléchissant, la rompant et la pliant; et la lumière sur les corps, en les échauffant et en *donnant à leurs parties un mouvement de vibration en quoi consiste la chaleur?* » Et il ajoute, questions VI, XXIX et XXXI : « Les *corps noirs* ne sont-ils pas plus aisément échauffés par la lumière, que ceux de toute autre couleur, par la raison que la lumière qui tombe sur les corps noirs n'est pas réfléchie au dehors, mais entre dans ces corps, et y est réfléchie et rompue en dedans, *jusqu'à ce qu'elle soit éteinte et perdue?...* Les corps transparents agissent en éloignement sur les rayons de lumière en les rompant, les réfléchissant et les pliant : les rayons à leur tour *agitent*, à certaine distance, les *particules de ces corps pour les échauffer...* Ces liqueurs ne sont pas plutôt mêlées ensemble qu'elles contractent une si grande chaleur, qu'il en sort une *flamme brûlante;* la *véhémence et la soudaineté de cette chaleur* ne prouvent-elles pas que ces deux liqueurs se mêlent avec violence, et que leurs parties portées rapidement les unes contre les autres, en se mêlant ensemble, *s'entre-choquent d'une très-grande force?...* Dans les fermentations, les particules des corps qui étaient presque en repos, sont mises en de nouveaux mouvements par un prin-

cipe très-puissant qui n'agit sur elles que lorsqu'elles sont fort proches les uns des autres et qui fait qu'elles se rencontrent et s'entre-choquent avec une extrême violence, que *échauffées par ce mouvement*, et venant à se froisser et à se briser les unes les autres, elles s'exhalent en air, en vapeur et en *flamme*... »

Locke a très-heureusement exprimé la même opinion sur la nature de la chaleur : « La chaleur, dit-il, est une très-vive agitation des parties insensibles de l'objet qui produit en nous la sensation qui nous fait dire que cet objet est chaud ; de sorte que ce qui, dans notre sensation, est de la *chaleur*, n'est dans l'objet que du *mouvement*. »

Barthez[1], après avoir discuté la théorie de la matérialité de la chaleur, s'appuie sur les expériences de Rumford pour dire : « Ce qui me paraît toujours le plus vraisemblable, c'est que la chaleur est *une espèce de mouvement particulier qui se produit dans les particules des corps échauffés;* indépendamment de toute absorption d'une substance calorique, fluide ou autre, qu'on supposerait y être absorbée ou combinée suivant une affinité quelconque. »

Ces citations montrent que les hommes éminents auxquels nous les avons empruntées ont fait effort pour pénétrer la véritable nature de la chaleur, mais elles n'indiquent nullement qu'ils aient eu la pensée

[1] *Nouveaux éléments de la science de l'homme.* 2e édition. Paris, 1806, tome I, page 267.

de rechercher les rapports de cet agent et des forces mécaniques ordinaires. Il faut puiser à d'autres sources pour trouver les premiers germes de la théorie mécanique de la chaleur.

Dans les premières années du dix-huitième siècle, Daniel Bernouilli publia, dans son *Hydrodynamique*, une théorie de la constitution des gaz. Négligée par ses contemporains, qui n'y virent sans doute qu'un débris des hypothèses cartésiennes, cette théorie a été reprise dans ces derniers temps ; admise aujourd'hui par tout le monde, elle est devenue une des bases de la science de la réciprocité des forces.

Dans leur beau *Mémoire sur la chaleur*[1], Lavoisier et la Place discutant les deux hypothèses qu'on peut faire sur la nature de cet agent, s'expriment de la manière suivante :

« D'autres physiciens pensent que la chaleur n'est que le résultat des vibrations insensibles des molécules de la matière... Pour développer cette hypothèse, nous observerons que, dans tous les mouvements dans lesquels il n'y a point de changement brusque, il existe une loi générale que les géomètres ont désignée sous le nom de *Principe de la conservation des forces vives ;* cette loi consiste en ce que, dans un système de corps qui agissent les uns sur les autres d'une manière quelconque, la force

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*. 1780, pages 357, 358, 359.

vive, c'est-à-dire la somme des produits de chaque masse par le carré de sa vitesse est constante. Si les corps sont animés par des forces accélératrices, la force vive est égale à ce qu'elle était à l'origine du mouvement, plus à la somme des masses multipliées par le carré des vitesses dues à l'action des forces accélératrices. Dans l'hypothèse que nous examinons, la chaleur est la *force vive qui résulte des mouvements insensibles des molécules d'un corps ; elle est la somme des produits de la masse de chaque molécule par le carré de sa vitesse.*

« Si l'on met en contact deux corps dont la température soit différente, les quantités de mouvement qu'ils se communiquent réciproquement seront d'abord inégales ; la force vive du plus froid augmentera de la même quantité dont la force vive de l'autre diminuera, et cette augmentation aura lieu jusqu'à ce que les quantités de mouvement communiquées de part et d'autre soient égales ; *dans cet état, la température des corps sera parvenue à l'uniformité.* »

A l'appui de cette manière d'envisager la chaleur, ils invoquent l'échauffement des corps solides frottés les uns contre les autres ; ils font remarquer aussi qu'il est facile de comprendre pourquoi les corps qui *s'échauffent le plus* sous l'influence de l'action des rayons solaires sont ceux qui *réfléchissent la moindre proportion de la lumière incidente.*

Certes, il serait difficile d'imaginer une définition plus nette et plus précise de la nature du mouvement qui constitue la chaleur. Mais, dans leur travail, Lavoisier et la Place, n'ayant jamais comparé la chaleur qu'à elle-même, n'ont pas cherché les rapports qui existent entre les forces vives calorifiques et la force vive des corps en mouvement, et n'ont nulle part abordé la question de la conversion de la chaleur en travail ; ils ont même posé comme principe incontestable que :

« Toutes les variations de chaleur, soit réelles, soit apparentes, qu'éprouve un système de corps, en changeant d'état, se reproduisent dans un ordre inverse lorsque le système repasse à son premier état. »

« S'ils avaient ajouté, dit M. Verdet [1], que cette égalité a lieu seulement lorsque les changements d'état ne sont accompagnés d'aucun travail extérieur, la théorie mécanique de la chaleur était fondée ; mais, sans ce complément, l'assertion de Lavoisier et la Place est une erreur démentie tous les jours par le jeu de la machine à vapeur et de la machine électro-magnétique. »

Nous avons rapporté (page 47) les expériences remarquables de Rumford (1798) et de Davy (1799); nous avons dit, en outre, comment le premier de ces observateurs avait été amené à considérer la chaleur comme le résultat d'un mouvement des molécules

[1] *Théorie mécanique de la chaleur*. Tome Ier, page XCIII.

des corps. — Davy[1] revint plus tard sur ces questions et tira de ces deux expériences les conclusions suivantes : « Puisque toute matière peut être amenée, par le refroidissement, à occuper un espace plus petit, il est évident que les particules de la matière doivent avoir de l'espace entre elles; et puisque chaque corps peut communiquer le pouvoir d'expansion à un corps de température plus basse, c'est-à-dire peut animer les particules de ce corps d'un mouvement expansif, il est très-probable que ses propres particules sont elles-mêmes en possession d'un mouvement ; mais comme il n'y a pas de changement dans la position de ses parties, aussi longtemps que la température est uniforme, le mouvement, s'il existe, doit être un mouvement vibratoire ou ondulatoire, ou un mouvement des particules autour de leurs axes ou, enfin, un mouvement des particules les unes autour des autres. » Il est encore plus affirmatif et plus net dans la phrase suivante : « La cause immédiate des phénomènes de la chaleur est dans le mouvement; et les lois de sa communication sont précisément les mêmes que les lois de la communication du mouvement. »

« Parmi les contemporains de Rumford et de Davy, dit M. Verdet[2], le seul Young paraît avoir compris

[1] *Philosophie chimique*. 1812. Pages 94, 95.
[2] *Théorie mécanique de la chaleur*. Page XCIV.

toute la portée de leurs expériences. Dans ses *Leçons de physique*, publiées en 1807, il les a rapprochées de ses immortelles découvertes sur la nature de la lumière, et il a presque atteint le vrai principe de la théorie mécanique de la chaleur. Il a été le premier à révoquer en doute le principe admis par Lavoisier et la Place, dont je vous ai parlé tout à l'heure; *il n'a peut-être pas été démontré dans un seul cas*, dit-il, dans sa leçon sur la mesure et la nature de la chaleur, *que la quantité de chaleur absorbée dans ces phénomènes soit précisément égale à la chaleur dégagée dans le phénomène inverse*. Dans ce simple doute était virtuellement contenue toute la théorie mécanique de la chaleur. »

Il est très-remarquable que, dès 1806, un doute de même nature ait été formulé par un physiologiste, par Barthez : « Quand on a mêlé, dit-il[1], une livre de glace au degré de *zéro* et une livre d'eau liquide à 60° (Réaumur), on a deux livres d'eau à *zéro* pour résultat du mélange.

« On ne voit pas dans cette expérience comment la chaleur *sensible* de l'eau échauffée à 60°, qui opère la fusion de la glace, n'élève pas la temperature de cette glace au-dessus du degré *zéro*. On en a donné pour raison que cette chaleur de 60°, qui est alors ainsi communiquée, se convertit en chaleur *latente*

[1] *Nouveaux éléments de la science de l'homme*. 2e édition. 1806. Tome I, page 264.

dans l'eau provenant de cette glace fondue, *de manière à n'être plus sensible au thermomètre ;* ce qui se réduit à énoncer en d'autres termes le fait même, et n'explique en aucune manière comment *ces* 60 *degrés de chaleur ont disparu.*

« On a avancé que ces degrés de chaleur se manifestent de nouveau au thermomètre, lorsque l'eau qui était devenue liquide repasse à l'état de glace. Mais *outre qu'il n'est point constaté que les* 60° *de chaleur se renouvellent entièrement, il est impossible de prouver que ces degrés de chaleur, que l'on prétend être seulement développés dans ce passage inverse, n'y soient pas réellement reproduits d'une manière inconnue, par le changement d'état de ce corps.* »

Dans l'article *de la Lumière*, inséré par Fresnel, en juin 1822, dans le supplément à la traduction française de la Chimie Thompson, nous trouvons[1] une note très-remarquable sur la nature de la chaleur. « Les corps noirs, dit-il, et même les surfaces métalliques les plus brillantes, ne réfléchissent pas, à beaucoup près, la totalité de la lumière qui tombe sur leur surface : les corps imparfaitement transparents, et même les plus diaphanes, quand ils sont assez épais, absorbent aussi (pour me servir de l'expression usitée) une quantité notable de la lumière incidente;

[1] *Œuvres complètes d'Augustin Fresnel.* Tome II, page 44.

mais il n'en faut pas conclure que le principe de la conservation des forces vives n'est pas applicable à ces phénomènes ; il résulte au contraire de l'idée la plus probable qu'on puisse se faire sur la constitution mécanique des corps, que la somme des forces vives doit toujours rester la même (tant que les forces accélératrices qui tendent à ramener les molécules à leurs positions d'équilibre n'ont pas changé d'intensité) et que la quantité de forces vives qui disparaît comme lumière est reproduite en chaleur. »

Depuis le beau mémoire de Melloni sur l'*Identité des radiations lumineuses, calorifiques et chimiques*[1], et les recherches sur les interférences des rayons calorifiques[2] de MM. Foucault et Fizeau, il n'est plus possible d'opposer aucune objection à la théorie qui considère la *chaleur rayonnante* comme produite par les mouvements vibratoires des molécules de l'éther. — Déjà, dès 1835, sept ans avant que les travaux dont nous venons de parler en eussent si victorieusement confirmé l'exactitude, Ampère avait adopté cette théorie de la chaleur rayonnante dans une note très-remarquable *sur la chaleur et la lumière considérées comme résultant de mouvements vibratoires*[3].

[1] *Bibliothèque universelle de Genève*. 1842. T. XXXIX, page 121.

[2] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 1847. Tome XXV, page 447.

[3] *Annales de chimie et de physique*. IIe série, 1835. Tome LVIII, page 432.

« Grâce, dit-il, aux travaux de Young, Arago et Fresnel, il est bien démontré aujourd'hui que la lumière est produite par les vibrations d'un fluide répandu dans tout l'espace et auquel on a donné le nom d'éther. La chaleur rayonnante, qui suit les mêmes lois dans sa propagation, peut être expliquée de la même manière. Mais, quand la chaleur se propage de la partie plus échauffée d'un corps à celle qui l'est moins, les lois de la transmission sont tout à fait différentes ; au lieu d'un mouvement vibratoire qui se propage par *ondes*, de manière que chaque onde laisse immobile le fluide qu'elle a mis en mouvement pendant l'instant de son passage, on a alors un mouvement qui se propage graduellement, de manière que la partie qui était primitivement la plus chaude (et par conséquent la plus agitée, quand on explique les phénomènes de la chaleur par les vibrations), quoique en diminuant peu à peu de chaleur, en conserve cependant plus que les parties auxquelles elle en transmet. De là naît une objection contre la théorie de la transmission de la chaleur par des mouvements vibratoires. Cependant (en note) comme un corps exposé aux rayons du soleil s'échauffe d'abord dans la partie sur laquelle tombent ces rayons, et que cette chaleur se transmet graduellement au reste du corps par le second mode de propagation dont nous venons de parler, il est impossible d'admettre que *la lumière et la chaleur des rayons solaires consiste*

dans des vibrations sans admettre que la chaleur transmise dans l'intérieur d'un corps est également produite par des mouvements vibratoires. »

Ampère démontre, dans son mémoire, que cette différence entre les lois de la chaleur rayonnante et les lois de la propagation de la chaleur par *conductibilité* n'est pas suffisante pour faire rejeter l'idée que la chaleur propagée de proche en proche dans un corps est le résultat d'un mouvement vibratoire des molécules du corps. — Qu'on admette que le mouvement vibratoire d'une *molécule physique*, composée d'un certain nombre d'*atomes chimiques*, se communique, directement ou par l'intermédiaire de l'éther interposé, aux molécules physiques voisines, il montre « comment les vibrations par lesquelles se propage la chaleur dans les corps peuvent y suivre une loi toute différente de celle des vibrations du son, de la lumière et de la chaleur rayonnante, ces dernières vibrations se propageant par des ondes qui laissent en repos la partie du corps vibrant où elles ont passé, sans qu'il y reste trace de leur passage, tandis que les premières se forment peu à peu, de proche en proche, et de manière que les vibrations des parties qui sont le plus près de la source de chaleur restent toujours supérieures en intensité aux vibrations des parties plus éloignées, d'une quantité qui va à la vérité en diminuant continuellement, mais qui, mathématiquement parlant,

ne deviendrait nulle qu'après un temps infini. »

Sans donc rien emprunter à la théorie de la transformation de la chaleur en travail, il demeure établi, par des considérations toutes physiques, que la chaleur rayonnante et la chaleur propagée par conductibilité dans les corps sont : la première, la force vive des molécules d'éther en vibration ; la seconde, la force vive qui résulte des vibrations insensibles des molécules des corps.

En 1824, Sadi Carnot chercha, dans un travail très-remarquable [1], à déterminer les lois générales de la chaleur considérée comme puissance motrice. Tout imbu des doctrines régnantes à cette époque, il adopta pour base de ses raisonnements la *matérialité* et par suite l'*indestructibilité* de cet agent. Pour lui la chaleur est un fluide qui se meut dans une direction déterminée, du corps le plus chaud au corps froid, de la même manière qu'un liquide descend par la pente de déclivité vers le point le plus bas ; la puissance motrice de la chaleur lui paraît comparable à celle de la chute d'eau ; « toutes deux, dit-il, ont un maximum que l'on ne peut pas dépasser, quelle que soit d'une part la machine employée à recevoir l'action de l'eau et quelle que soit, de l'autre, la substance employée à recevoir l'action de la chaleur. La puissance motrice de la chute d'eau

[1] *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance.* Paris, 1824.

dépend de sa hauteur et de la quantité de liquide ; la puissance motrice de la chaleur dépend aussi de la quantité de calorique employé et de ce qu'on pourrait nommer, de ce que nous appellerons en effet la hauteur de sa chute, c'est-à-dire la différence de température des corps entre lesquels se fait l'échange de calorique. »

Malgré l'erreur fondamentale du point de départ, bien que la matérialité de la chaleur ne puisse plus être admise, Sadi Carnot a le mérite incontestable d'avoir inventé un mode de raisonnement d'une très-grande puissance. Son ouvrage était plein d'obscurités que M. Clapeyron a fait disparaître,[1] en apprenant à traduire analytiquement et à représenter géométriquement ces formes de raisonnements qui, sous la dénomination de *Cycles de Carnot*, jouent un si grand rôle dans la théorie mécanique de la chaleur.

Neveu et héritier de Montgolfier, M. Séguin publia, en 1839, un livre[2] dans lequel il développait les idées de son oncle sur la nature de la chaleur et sur son rôle mécanique. Dans la machine à feu, il assignait à la vapeur le rôle de simple intermédiaire destiné à produire du travail au moyen de la chaleur, qui n'était elle-même qu'un mouvement.

[1] *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur.* In *Journal de l'École polytechnique.* 1834. Tome XIV.

[2] *Études sur l'influence des chemins de fer.* Paris, 1839.

Les idées nouvelles développées dans cet ouvrage auraient dû attirer fortement l'attention des savants et ne furent pas appréciées à leur juste valeur. M. Séguin critiquait la théorie, généralement admise alors, de la machine à vapeur; après avoir montré qu'elle conduisait à cette conséquence absurde qu'une quantité *finie* de chaleur peut produire une quantité *indéfinie* de travail, il ajoutait, page 328 : « Il me paraît plus naturel de supposer qu'une certaine quantité de calorique disparaît dans l'acte même de la production de la force ou puissance mécanique et réciproquement. » Il disait encore, page 383 : « La force mécanique qui apparaît pendant l'abaissement de température d'un gaz, comme de tout autre corps qui se dilate, est la mesure et la représentation de cette diminution de chaleur. » — M. Séguin a aussi calculé la hauteur à laquelle la vapeur, qui se refroidit en se dilatant, peut élever un kilogramme d'eau; n'est-ce pas là chercher la mesure de l'équivalent mécanique de la chaleur? Nous lisons enfin à la page 403 : « Je bornerai là mes réflexions sur ce sujet, dont chacun saura apprécier l'importance. Du calorique qui est employé par l'industrie à produire de la force et aux usages domestiques, une faible partie seulement est utilisée; une autre quantité beaucoup plus considérable, et qui pourrait suffire à créer d'immenses valeurs et à augmenter d'autant la richesse nationale, se trouve absolument perdue. »

Mais c'est seulement en 1842 qu'un médecin de Heilbronn, Jules-Robert Mayer, formula nettement le principe de l'*équivalence du travail et de la chaleur* dans ses *Remarques sur les forces de la nature inanimée* publiées dans les *Annales* de Liebig. Il a déduit cette grande loi de l'étude comparée du frottement, de la machine à vapeur et des propriétés des gaz. Il a donné aussi, dans ce mémoire, une première détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur déduite des propriétés des gaz. Les données expérimentales qui, à cette époque, avaient cours dans la science, étaient trop incomplètes pour fournir une détermination numérique exacte ; mais le principe de l'opération est irréprochable. « La loi, *chaleur égale effet mécanique*, dit-il, est indépendante de la nature du fluide élastique, qui n'est que l'instrument à l'aide duquel une force est convertie en l'autre. »

Mayer publia : en 1845, son mémoire sur *le Mouvement organique et la nutrition* ; en 1848, l'*Introducteur à la dynamique du ciel ;* en 1851, des *Remarques sur l'équivalent mécanique de la chaleur*. Il fit dans ces publications des applications physiologiques et astronomiques très-importantes et très-remarquables du principe qu'il a la gloire incontestable d'avoir, le premier, introduit dans la science.

De son côté, à peu près à l'époque de la première publication de Mayer, M. Colding, ingénieur des eaux de la ville de Copenhague, développait, sur la

puissance des machines à feu, des idées analogues à celles de Mayer, dans une série de mémoires communiqués à la Société des mines de Danemark. M. Colding déduisait aussi des phénomènes du frottement une détermination de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Dès 1843, M. Joule commença à étudier expérimentalement les rapports de la chaleur et du travail mécanique. Si, au point de vue théorique, il a été devancé par Mayer, il n'en a pas moins la gloire incontestable d'avoir donné la première démonstration expérimentale du principe de l'équivalence du travail et de la chaleur. Ses recherches sur la chaleur dégagée par les courants induits, sur les effets calorifiques des changements de volume des gaz, et sur le frottement, ses vues sur la constitution des gaz ont donné aux idées nouvelles une base expérimentale désormais inébranlable.

Les travaux d'Helmoltz, de Clausius, de Macquorn-Rankine, de W. Thomson ont complété l'œuvre de la constitution définitive de la science thermo-dynamique.

IV

ORIGINE DE LA CHALEUR ANIMALE (page 106).

Lavoisier. — Il nous a paru intéressant d'indiquer ici rapidement la succession et la date des principaux travaux de Lavoisier sur les sources de la chaleur animale.

Dans un premier mémoire intitulé : *sur la Nature du principe qui se combine avec les métaux pendant la calcination et qui en augmente le poids*[1], Lavoisier établit que :

1° Le gaz obtenu en décomposant l'oxyde de mercure par la chaleur (l'oxygène) entretient et même active la combustion des corps, et est *plus propre que l'air ordinaire à entretenir la respiration des animaux ;*

2° Le gaz obtenu en réduisant l'oxyde de mercure par le charbon (l'acide carbonique) ne peut servir ni à la combustion des corps, ni à *la respiration des animaux.*

Dans un second mémoire : *Expériences sur la respiration des animaux*[2], Lavoisier établit que :

1° La calcination des métaux dépouille l'air d'oxy-

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences,* 1775, page 520.
[2] *Mémoires de l'Académie des sciences,* 1777, page 183.

gène, laisse l'azote intact et ne dégage *aucun gaz nouveau ;*

2° La respiration des animaux dépouille l'air d'oxygène, ne fait subir aucune modification à l'azote, mais *remplace l'oxygène disparu par un volume sensiblement égal d'acide carbonique.*

« Si l'on augmente ou si l'on diminue, dit-il, dans une quantité donnée d'air de l'atmosphère, la quantité d'air éminemment respirable (d'oxygène) qu'il contient, on augmente ou l'on diminue, dans la même proportion, la quantité de métal qu'on peut y calciner et, jusqu'à un certain point, le *temps que les animaux peuvent y vivre...* Je me trouve conduit à deux conséquences également probables et entre lesquelles l'expérience ne m'a pas mis encore en état de prononcer. Il arrive de deux choses l'une : ou la portion d'air éminemment respirable (oxygène), contenue dans l'air de l'atmosphère est convertie en acide crayeux (acide carbonique) en passant par le poumon ; ou bien il se fait *un échange* dans ce viscère : d'une part, l'air éminemment respirable est absorbé et, d'autre part, le poumon restitue à la place une partie d'air crayeux *presque égale* en volume. »

Dans un troisième mémoire *sur la Combustion en général*[1], Lavoisier s'exprime ainsi en terminant :

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1777, page 592.

« J'ai fait voir que l'air pur (oxygène), après être entré dans le poumon, en ressortait en partie dans l'état d'air fixe ou d'acide crayeux (acide carbonique). L'air pur, en passant par le poumon, éprouve donc une décomposition analogue à celle qui a lieu dans la combustion du charbon. Or, dans la combustion du charbon, il y a dégagement de la matière du feu, donc il doit y avoir également dégagement de la matière du feu dans le poumon, dans l'intervalle de l'inspiration à l'expiration, et c'est cette matière du feu sans doute qui, se distribuant avec le sang dans toute l'économie animale, y entretient une chaleur constante de 32° 1/2 environ au thermomètre de M. de Réaumur. Cette idée paraîtra peut-être hasardée au premier coup d'œil ; mais, avant de la rejeter ou de la condamner, je prie de considérer qu'elle est appuyée sur deux faits constants et incontestables, savoir : sur la décomposition de l'air dans le poumon, et sur le dégagement de la matière du feu qui accompagne toute décomposition d'air pur, c'est-à-dire tout passage de l'air pur à l'état d'air fixe. Mais ce qui confirme encore que la chaleur des animaux tient à la décomposition de l'air dans le poumon, c'est qu'il n'y a d'animaux chauds que ceux qui respirent habituellement, et que cette chaleur est d'autant plus grande que la respiration est plus fréquente, c'est-à-dire qu'il y a *une relation constante entre la chaleur de l'animal et la quantité d'air entrée ou*

au moins convertie en air fixe dans les poumons. »

Dans un quatrième mémoire *sur la Chaleur*[1], Lavoisier compara la chaleur que, dans un temps donné, le rayonnement, l'évaporation et le contact de l'air enlèvent à l'animal, à celle que la production de l'acide carbonique pendant la respiration lui fournit dans le même temps. Il établit expérimentalement que :

1° Un cochon d'Inde brûle, en dix heures, par la respiration, $3^{gr},333$ de carbone, dont la chaleur de combustion suffit pour fondre $326^{gr},75$ de glace à la température de *zéro ;*

2° Un cochon d'Inde cède, en dix heures, au milieu ambiant, une quantité de chaleur suffisante pour fondre $341^{gr},08$ de glace à *zéro*, sans rien perdre de sa température propre.

Le rapport de la quantité de chaleur *produite par la respiration* à celle que *perd* l'animal dans le même temps est donc :

$$\frac{326,75}{341,08} = 0,96.$$

C'est donc avec raison que Lavoisier conclut de cette mémorable expérience : « Lorsqu'un animal est dans un état permanent et tranquille, lorsqu'il peut vivre pendant un temps convenable, sans souffrir, dans le milieu qui l'environne ; en général,

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1780, page 355.

lorsque les circonstances dans lesquelles il se trouve n'altèrent pas sensiblement son sang et ses humeurs, de sorte qu'après plusieurs heures le système animal n'éprouve pas de variation sensible, la conservation de la chaleur animale est due, *au moins en grande partie*, à la chaleur que produit la combinaison de l'air pur respiré par les animaux avec la base de l'air fixe que le sang lui fournit. »

Dans un cinquième mémoire *sur les Altérations qui arrivent à l'air dans plusieurs circonstances où se trouvent les hommes réunis en société*[1], Lavoisier continua cette étude et fixa particulièrement son attention sur ce fait, déjà signalé par lui, que l'acide carbonique exhalé ne contient pas la totalité de l'oxygène disparu dans la respiration. Par des expériences tentées sur des cochons d'Inde enfermés dans des cloches de verre remplies tantôt d'air atmosphérique, tantôt d'oxygène pur, il établit que : sur 100 parties d'oxygène absorbé, 81 parties seulement sont expirées par l'animal sous forme d'acide carbonique, et 19 parties ne se retrouvent pas dans les produits gazeux de l'expiration.

« Il est donc évident, dit-il, qu'indépendamment de la portion d'air vital *qui a été convertie en air fixe*, une portion de celui qui est entré dans le poumon n'en est pas sortie dans l'état élastique, et

[1] *Histoire de la Société royale de médecine*, 1782, page 569.

il en résulte qu'il se passe, de deux choses l'une, pendant l'acte de la respiration : ou qu'une partie d'air vital s'unit avec le sang, ou bien qu'elle se combine avec une portion d'air inflammable (hydrogène) *pour former de l'eau*. Je discuterai dans un autre mémoire les motifs qu'on peut alléguer en faveur de chacune de ces opinions. Mais, en supposant, comme il y a quelque lieu de le croire, que la dernière soit préférable, il est aisé de déterminer la quantité d'eau qui se forme par la respiration et la quantité d'air inflammable qui est extraite du poumon. »

Ainsi, dès cette époque, Lavoisier avait ramené les phénomènes physico-chimiques de la respiration à une double combustion, et déterminé les proportions du partage de l'oxygène absorbé entre le carbone et l'hydrogène des matériaux du sang ; pour lui, cette double combustion était la véritable source de la chaleur produite par l'animal.

Dans un sixième mémoire *sur la Respiration des animaux*[1], Lavoisier développa complétement ses idées sur la respiration et la production de la chaleur animal ; il fit de nouvelles expériences et il établit que :

1° Pendant la respiration il n'y a ni exhalation, ni absorption d'azote ;

2° Dans l'oxygène pur, la respiration est la *même* que dans l'air atmosphérique ;

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1789, page 566.

3° La proportion d'azote peut être notablement augmentée sans que les phénomènes de la respiration soient altérés. Dans le cas précédent, comme dans celui-ci, la proportion d'oxygène absorbé reste, *à quelques légères différences près*, la *même* que dans l'air atmosphérique;

4° Dans l'air atmosphérique on peut remplacer l'azote par un *volume égal* d'hydrogène, sans altérer sensiblement la respiration. Dans cette atmosphère artificielle, les animaux commencent à donner quelques signes de malaise seulement après *dix heures* de séjour. D'ailleurs l'hydrogène n'éprouve aucune diminution et, par conséquent, ne sert en rien à la respiration;

5° L'abaissement de la température ambiante détermine une plus forte consommation d'oxygène;

6° Pendant la digestion, l'oxygène est absorbé en plus forte quantité qu'avant le repas;

7° Le mouvement, l'exercice, le travail manuel augmentent la quantité d'oxygène absorbé.

« La respiration, dit-il, n'est qu'une combustion lente de carbone et d'hydrogène, qui est semblable en tout à celle qui s'opère dans une lampe ou dans une bougie allumée, et, sous ce point de vue, les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consument.

« Dans la respiration comme dans la combustion, c'est l'air de l'atmosphère qui fournit l'oxygène et

le calorique ; mais, comme dans la respiration, c'est le sang qui fournit le combustible ; si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe et l'animal périrait, comme la lampe s'éteint lorsqu'elle manque de nourriture.

« La machine animale est principalement gouvernée par trois régulateurs principaux : la respiration, qui consomme de l'hydrogène et du carbone et qui fournit du calorique ; la transpiration, qui augmente ou diminue suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique ; enfin, la digestion, qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration. »

Plus tard[1], Lavoisier constata que, même chez les mammifères, le poumon n'est pas la seule surface respiratoire ; il découvrit la respiration cutanée.

Lavoisier a donc, dans ses immortels travaux, embrassé dans leur ensemble et dans toute leur étendue, les rapports de l'être vivant avec l'atmosphère. Il a démontré expérimentalement que la double combustion respiratoire est la vraie source de toute la chaleur produite par l'animal. Une seule question est restée indécise dans cette belle théorie physiologique, le lieu du conflit de l'oxygène et des matériaux combustibles du sang.

[1] *Traité de chimie*. Tome II. pages 236 et 255.

Spallanzani. — Dans ses recherches sur la respiration, Spallanzani a mis en évidence deux faits d'une haute importance :

1° Il a démontré que, chez les batraciens, la respiration cutanée a plus d'importance que la respiration pulmonaire, et suffit *seule* pour entretenir longtemps la vie de l'animal[1] ;

2° En constatant que des limaçons, placés dans un tube plein d'azote ou d'hydrogène, continuent à *exhaler de l'acide carbonique*, il démontra expérimentalement que la combustion respiratoire ne s'effectue pas directement dans le poumon ; qu'il se fait dans le poumon un simple échange de gaz entre le sang veineux, chargé d'acide carbonique, et l'air atmosphérique, riche en oxygène ; que, par suite, le conflit de l'oxygène et des matières combustibles du sang s'opère dans le torrent circulatoire. « Le gaz acide carbonique, dit-il, qui se manifeste dans la respiration, semble plutôt un produit de l'acide carbonique *préexistant* dans le sang, suivant l'opinion de Lavoisier, que je confirmerai bientôt par de nouvelles preuves[2]. » — En complétant ainsi la théorie des phénomènes physico-chimiques de la respiration par la démonstration expérimentale de la *préexistance* de l'acide carbonique dans le sang veineux, Spallanzani croyait donc confirmer simple-

[1] *Mémoire de la respiration*, pages 72 et 114.
[2] *Loco citato*, page 216.

ment les opinions émises avant lui par Lavoisier.

Gaz libres du sang. — Du moment où les combustions s'opèrent dans le torrent circulatoire, le sang doit contenir des gaz à l'état libre et simplement dissous ; le fait a été démontré expérimentalement par plusieurs observateurs.

M. Magnus a, le premier, étudié convenablement cette importante question. Dans son mémoire *sur les Gaz que contient le sang*[1] pour éviter toute réaction chimique, il a extrait les gaz en se contentant de soumettre le sang à l'action du vide. Il a opéré comparativement sur le sang artériel et sur le sang veineux du même animal, et a constaté ainsi que, quelle que soit sa provenance, le sang contient toujours de l'acide carbonique, de l'oxygène et de l'azote à l'état de simple dissolution. Comme dans cette opération, le sang n'a jamais été épuisé de ses gaz dissous, il serait inutile de rapporter les quantités absolues de gaz obtenues ; il nous suffira de parler des rapports des deux gaz (oxygène et acide carbonique) recueillis.

			RAPPORT DE L'OXYGÈNE A L'ACIDE CARBONIQUE
1° CHEVAL.	Sang artériel..		0,352
	Sang veineux.	1er échantillon..	0,262
		2e échantillon..	0,268

[1] *Annales de chimie et de physique.* IIe série. 1837. Tome LXV, page 169.

			RAPPORT DE L'OXYGÈNE A L'ACIDE CARBONIQUE
2° CHEVAL.	Sang artériel.	1er échantillon..	0,384
		2e échantillon..	0,315
	Sang veineux..		0,201
VEAU. . .	Sang artériel.	1er échantillon..	0,372
		2e échantillon..	0,428
	Sang veineux.	1er échantillon..	0,176
		2e échantillon..	0,164

Conformément à ce qu'on devait prévoir, ces résultats, bien que fort incomplets, prouvent que toujours le rapport de l'oxygène à l'acide carbonique est plus considérable dans le sang artériel que dans le sang veineux.

L'étude de cette question a été reprise par MM. Fernet[1], Lothar-Meyer[2], Setschenow[3] et Schoffer[4]. Nous aurons soin de ramener constamment les volumes des gaz, évalués en centimètres cubes, à la température de 0° et à la pression de 76 centimètres de mercure.

M. Fernet a fait bouillir, dans le vide, du sang artériel de chien, additionné de dix à vingt fois son volume d'eau exempte de gaz. D'après cet observateur,

[1] *Note sur la solubilité du gaz.* (*Comptes rendus de l'Académie des sciences.* 1855. Tome XLI, page 1237.) —*Thèse inaugurale.* (*Annales des sciences naturelles*, IVe série, Zoologie, tome VIII, page 125.)

[2] *Die Gase des Blutes.* (*Inaugural dissertation der Hoden medicinischen Facultät Wurzbürg.* Göttingen, 1857.)

[3] *Beiträge zur Pneumatologie des Blutes.* (*Sitzungsber. d. Wien, Akad.* Math. Naturv. Cl. 1859. Bd. XXXVI, p. 295. *Zeitschr. für rat. Med.* III Reihe, Bd. X, S. 101, 285.)

[4] *Ueber die Kohlensaüre des Blutes und ihre Ausscheidung Sitzungsber. d. Wien. Akad.* 1860. Bd. XLI, S. 519.)

1000cc de sang ont fourni moyennement	235cc de gaz *libres.*	Oxygène.	174cc
		Acide carbonique..	57
		Azote..	4

Par l'acide tartrique, il a obtenu 185 centimètres cubes d'acide carbonique *combiné.*

M Lothar-Meyer a employé le même procédé et agi aussi sur le sang artériel du chien. D'après lui,

1000cc de sang ont fourni moyennement	249cc de gaz *libres.*	Oxygène.	150cc
		Acide carbonique..	57
		Azote..	42

Par l'acide tartrique, il a obtenu 160 centimètres cubes d'acide carbonique *combiné.*

Ces deux résultats diffèrent considérablement par la quantité d'azote obtenu ; il est difficile de se rendre compte de cette divergence.

M. Setschenow a soumis le sang, sans addition d'eau, à l'action de la machine pneumatique à mercure, et l'a fait bouillir dans le vide à une basse température (40°). Par suite, il a évité la coagulation de l'albumine. Il a retiré ainsi du sang artériel du chien une plus forte proportion de gaz *libres.*

1000cc de sang ont fourni moyennement	608cc de gaz *libres.*	Oxygène.	206cc
		Acide carbonique..	387
		Azote..	15

Par l'acide tartrique, il a obtenu seulement 33 centimètres cubes d'acide carbonique *combiné.*

Ce dernier résultat est remarquable par la forte

proportion d'acide carbonique *libre* et la faible quantité d'acide carbonique *combiné*.

M. Schoffer a employé le procédé de M. Setzchenow. Il a comparé le sang artériel au sang veineux.

1000cc DE SANG ONT FOURNI MOYENNEMENT	ACIDE CARBONIQUE		OXYGÈNE	AZOTE
	Libre	Combiné		
Sang artériel.	374cc	13cc	203cc	16cc
Sang veineux.. . . .	415	34 ,6	135	15

Il demeure établi, par ces dernières expériences, qu'en réalité le sang artériel contient toujours, *à l'état de liberté*, plus d'oxygène et moins d'acide carbonique que le sang veineux. La quantité d'azote est sensiblement la même dans les deux sangs.

Exhalation de l'azote. — Les résultats obtenus par M. V. Regnault et par M. Boussingault s'accordent pour démontrer qu'une très-faible proportion de l'azote introduit dans l'économie par les substances alimentaires est éliminée, à l'état de gaz libre, par les voies respiratoires.

Influence des conditions physiologiques sur l'intensité des combustions respiratoires. — Rien ne démontre mieux l'exactitude de la théorie de la chaleur animale, formulée par Lavoisier, que l'influence exercée par les diverses circonstances physiologiques sur l'intensité des phénomènes physico-chimiques de la respiration.

Classes zoologiques. — Nous avons vu (page 79) que la température des oiseaux est supérieure à celle des mammifères. M. V. Regnault, dans son beau travail sur la respiration [1], a déterminé la quantité d'oxygène consommée, par kilogramme et par heure, par des animaux très-divers appartenant à ces deux classes zoologiques. Si nous comparons les résultats fournis par le lapin et par la poule, animaux dont le poids total est sensiblement le même, nous trouvons que moyennement :

La poule absorbe :

Par kilogramme et par heure. . . . 1gr,186 d'oxygène.

Tandis que le lapin absorbe seulement :

Par kilogramme et par heure. . . . 0gr,914 d'oxygène.

Veille et sommeil. — L'observation démontre que, pendant le sommeil, la température animale est moins élevée, et que surtout la résistance au refroidissement est plus faible que pendant la veille. — Il résulte des observations de M. Boussingault [2] sur les tourterelles que :

Une 1re tourterelle brûlait par heure. . . .	Éveillée. .	0gr,255	de carbone.
	Endormie.	0 ,162	—
Une 2e tourterelle brûlait par heure.. . .	Éveillée. .	0 ,205	—
	Endormie.	0 ,145	—

[1] *Annales de chimie et de physique.* IIIe série. 1849. Tome XXVI, page 299.

[2] *Annales de chimie et de physique,* IIIe série, 1844. Tome XI, page 433.

Le mémoire sur la respiration de M. V. Regnault contient une observation très-intéressante sur les marmottes :

1° Les marmottes *complétement éveillées* consommaient par kilogramme et par heure.	0gr,986 d'oxygène.
2° Les marmottes *engourdies* seulement pendant une partie de l'expérience consommaient par kilogramme et par heure.	0 ,337 —
3° Les marmottes *engourdies* pendant toute la durée de l'expérience consommaient par kilogramme et par heure.	0 ,044 —

Cet affaiblissement considérable de l'intensité des combustions respiratoires est parfaitement en rapport avec l'abaissement de la température des marmottes *engourdies*.

Repos et mouvement. — Pendant que l'animal exécute un travail mécanique, sa température subit une légère élévation; mais la quantité de chaleur sensible produite est hors de proportion avec l'augmentation de l'intensité des combustions respiratoires. Ainsi Lavoisier a constaté [1] que :

1° Un homme, à *jeun* et au repos, consommait par heure.	24 litres d'oxygène.
2° Ce même homme à *jeun*, pendant qu'il accomplissait le travail nécessaire pour élever, en 15 minutes, un poids de 7kil,343 à 200 mètres de hauteur consommait par heure.	63 litres d'oxygène.

[1] *Mémoires de l'Académie des sciences*, 1789, page 573.

D'après les observations de M. Lassaigne [1] :

Un 1er cheval exhalait par heure.. . .	Avant l'exercice.	341gr,69	d'acide	carbonique
	Après 1/4 d'heure d'exercice.. .	745 ,90	—	—
Un 2e cheval exhalait par heure.. . .	Avant l'exercice.	685 ,28	—	—
	Après 1/4 d'heure d'exercice.. .	754 ,88	—	—

Si, pendant l'exercice, toute la chaleur produite par la combustion n'est pas traduite par l'élévation de température, c'est que la majeure partie est *transformée en travail.*

Alimentation. — L'observation démontre que la température des animaux s'abaisse quand leur alimentation est insuffisante. — Or, il résulte des observations de Lavoisier [2] que :

Un homme consommait par heure.	A *jeun*.. . . .	26lit,660	d'oxygène.
	Pendant la digestion. . .	37 ,689	—

Dans son mémoire sur la respiration [3], M. V. Regnault a déterminé la quantité d'oxygène consommé par les mêmes animaux, successivement soumis à leur régime habituel et à l'inanition :

		OXYGÈNE CONSOMMÉ PAR KILOGRAMME ET PAR HEURE
LAPIN.. . .	Nourri avec des carottes.. . .	0gr,876
	A l'inanition.	0 ,749

[1] *Journal de chimie médicale*, 1849. Tome V, page 15.

[2] *Mémoire de l'Académie des sciences*, 1789, page 575.

[3] *Annales de chimie et de physique*. IIIe série. 1849. Tome XXVI, page 299.

		OXYGÈNE CONSOMMÉ PAR KILOGRAMME ET PAR HEURE
CHIEN. . . .	Nourri avec de la viande. . .	1gr,124
	A l'inanition.	0 ,902
POULE. . . .	Nourrie avec des graines. . . .	1 ,227
	A l'inanition.	1 ,041

Vierordt, dans son article *Respiration*[1], rapporte trois séries d'expériences tentées par lui sur des grenouilles soumises à l'inanition :

1° Des grenouilles, prises le 3 juin, furent mises dans de l'eau de puits renouvelée tous les deux ou trois jours ; par vingt-quatre heures et par kilogramme, ces grenouilles :

	LE 24 JUIN	LE 11 AOUT	
Absorbaient. . . .	3gr,980	0gr,956	d'oxygène.
Brûlaient.	1 ,260	0 ,350	de carbone.

2° Des grenouilles placées dans les mêmes conditions, le 9 juin :

	LE 4 JUILLET	LE 9 AOUT	
Absorbaient.	2gr,580	1gr,705	d'oxygène.
Brûlaient.	0 ,802	0 ,352	de carbone.

3° Des grenouilles placées dans les mêmes conditons, le 11 juillet :

	LE 12 JUILLET	LE 12 AOUT	
Absorbaient.	1gr,989	1gr,468	d'oxygène.
Brûlaient.	0 ,589	0 ,448	de carbone.

Température extérieure. — A mesure que la température extérieure s'élève, les causes de refroidisse-

[1] *Dictionnaire de physiologie,* par Richard Wagner. Tome II, page 885.

ment s'affaiblissent, et l'animal supérieur est obligé de brûler une moindre quantité des matériaux de son sang pour maintenir sa température constante. — M. Letellier[1] a étudié les gaz de l'expiration fournis par des animaux soumis à des températures successivement croissantes, depuis 0° jusqu'à 42°. Ses résultats, calculés pour ce que l'animal exhale par kilogramme et par heure, donnent :

PETITS OISEAUX	A la température de 0°.	18gr,980	d'acide	carbonique.
	Entre 14° et 22°. . .	13 ,034	—	—
	Entre 30° et 42°. . .	8 ,980	—	—
GROS OISEAUX	A la température de 0°.	7 ,152	—	—
	Entre 14° et 22°. . .	4 ,541	—	—
	Entre 30° et 42°. . .	2 ,688	—	—
COCHONS D'INDE	A la température de 0°	3 ,540	—	—
	Entre 14° et 22°. . .	2 ,526	—	—
	Entre 30° et 42°. . .	2 ,097	—	—
SOURIS	A la température de 0°.	17 ,852	—	—
	Entre 14° et 22°. . .	16 ,711	—	—
	Entre 30° et 42°. . .	8 ,993	—	—

[1] *Annales de chimie et de physique*. IIIe série. 1845. Tome XIII, page 478.

V

RÉGIME ALIMENTAIRE (page 189.)

L'alimentation introduit dans l'économie trois substances organiques essentielles : 1° une substance azotée (fibrine, albumine, caséine, légumine, gluten) ; 2° une matière ternaire grasse ; 3° un hydrate de carbone (sucre, gomme, fécule).

La substance azotée est le principe plastique, le principe fondamental de l'alimentation. Le jeu des fonctions enlève, en effet, à chaque organe une partie de sa matière quaternaire constitutive qui, simplifiée, incomplétement brûlée, est expulsée de l'économie et se retrouve dans les produits azotés des diverses excrétions. La substance azotée des aliments, modifiée et fixée dans l'économie, sert à réparer ces pertes incessantes de matières quaternaires qu'éprouve l'organisme.

Quant aux matières ternaires, grasses, sucrées ou amylacées, elles sont directement brûlées dans le torrent circulatoire et servent à produire la chaleur nécessaire au maintien de la température propre de l'animal.

La matière quaternaire des organes, incomplétement brûlée et éliminée dans le mouvement de dé-

nutrition, contribue aussi à la production de la chaleur animale. Quand la matière ternaire n'est pas en suffisante quantité dans la ration alimentaire, les substances quaternaires sont brûlées en plus forte quantité qu'à l'état normal. Dans ce cas, l'excès de combustion de matière quaternaire porte sur les organes eux-mêmes, et l'économie souffre si la ration adoptée ne contient pas assez de substances azotées pour réparer les pertes de la dénutrition et compenser le défaut de matière ternaire.

Lorsqu'un animal adulte, dont le développement est complet, est soumis à la *ration d'entretien*, son poids ne varie pas et se retrouve le même chaque jour, à la même heure. Les aliments lui fournissent tous les éléments nécessaires pour réparer les pertes de la dénutrition et pour entretenir les combustions respiratoires. Mais aussi, dans de pareilles conditions, l'animal doit, dans l'espace de vingt-quatre heures, expulser par le poumon, la peau, les déjections et les excrétions, une somme de principes élémentaires *égale, en nature et en poids*, à la somme de ces mêmes principes contenus dans les aliments consommés.

Quand la ration alimentaire est insuffisante ou même complétement supprimée, les fonctions continuent pendant un certain temps ; mais alors le travail des combustions intérieures porte, en majeure partie, ou tout entier, sur la *substance propre* de

l'animal, qui souffre, dépérit rapidement et meurt, si un régime convenable ne lui est pas rendu. Nous empruntons à M. Boussingault[1] l'exemple suivant bien propre à montrer avec quelle régularité les variations du poids du corps accusent les modifications du régime alimentaire auquel l'animal est soumis.

« Une tourterelle qui consommait, toutes les vingt-quatre heures, 15 grammes de millet, a éprouvé les pertes suivantes quand, pour toute nourriture, on ne lui laissa que de l'eau à discrétion.

DATES	POIDS DE L'ANIMAL	PERTE EN 24 HEURES
Février. . . . 15 . . .	186gr,8	. . . 8gr,5
— . . . 17 . . .	170 ,7	. . . 7 ,2
— . . . 18 . . .	163 ,5	. . . 7 ,4
— . . . 19 . . .	156 ,1	. . . 7 ,5
— . . . 20 . . .	148 ,6	. . . 8 ,1
— . . . 21 . . .	140 ,5	. . . 7 ,5
— . . . 22 . . .	133 ,0	

« Ainsi en *sept* jours de diète, la perte a été de 29 p. 100 du poids initial. Cet oiseau, au début de l'expérience était gras et plein de vigueur ; il aurait sans doute encore supporté plusieurs jours d'abstinence, quoique déjà il eût maigri considérablement.

« La rapidité avec laquelle l'animal augmenta de poids, quand on lui eut donné du millet à discrétion, est remarquable.

[1] *Économie rurale*. 2e édition. Tome II, page 238.

DATES	POIDS	MILLET CONSOMMÉ	AUGMENTATION DE POIDS EN 24 HEURES
Février.. . 22 . .	153gr,0	20gr. . .	16gr,8
— . . 23 . .	149 ,0	20 . . .	19 ,8
— . . 24 . .	168 ,8	65 Perte	2 ,5
— . . 27 . .	166 ,3	60 . . .	2 ,0
— . . 29 . .	168 ,3		

« L'augmentation a été très-forte dans les deux premiers jours ; ensuite il y a eu un temps d'arrêt. Après *sept* jours d'un régime abondant, la tourterelle avait retrouvé toute sa vivacité, sans avoir récupéré, à beaucoup près, ce qu'elle avait perdu ; elle s'est remise en chair, mais la graisse, éliminée pendant l'inanition, n'a pas reparu. »

Les matières azotées neutres, contenues dans les aliments ingérés, fournissent aux animaux les matériaux avec lesquels ils constituent et réparent la substance de leurs propres organes. On peut donc, avec M. Boussingault, admettre que la *faculté nutritive des diverses matières alimentaires est proportionnelle à la quantité de substance azotée ou d'azote, qui entre dans leur composition.* D'où résulte que deux poids de deux matières alimentaires différentes, contenant la même quantité d'azote, ont la même faculté nutritive, peuvent être substitués l'un à l'autre dans la ration alimentaire, sont *équivalents.*

Mais l'alimentation ne doit pas seulement fournir à l'organisme des matériaux azotés ; elle doit aussi introduire dans l'économie une quantité de matière

ternaire, combustible, suffisante pour maintenir la température propre de l'animal. Aussi l'expérience démontre que les principes précédents ne peuvent pas être rigoureusement appliqués à toutes les matières alimentaires.

Tant qu'il s'agit de substances alimentaires dont la composition, en matières ternaires et quaternaires, ne diffère pas beaucoup, on peut considérer comme *équivalents nutritifs* et substituer les uns aux autres les poids de ces matières qui contiennent la même quantité d'azote. Il n'en est plus de même quand la composition de ces matières est trop différente ; dans ce cas, en effet, l'aliment substitué, quoique contenant une assez grande quantité de matière plastique, peut ne pas fournir à l'économie une proportion convenable de matière ternaire combustible, et alors la nutrition est altérée, l'animal souffre, le régime est insuffisant. Cette question est assez importante pour que nous devions l'examiner avec soin.

L'expérience démontre qu'*un* gramme d'hydrogène, en se combinant avec l'oxygène, développe *quatre fois* plus de chaleur qu'*un* gramme de charbon qui se transforme en acide carbonique. Si donc nous évaluons en *carbone* la puissance calorifique de l'hydrogène, nous avons :

1 gramme d'hydrogène = 4 grammes de carbone.

Cela posé, il est facile de calculer *en carbone* la

puissance calorifique des diverses matières alimentaires.

1000 grammes de matières sucrées, gommeuses ou amylacées, contiennent moyennement :

Carbone.	420gr.
Eau toute formée.	580
	1000

1000 grammes de matière grasse contiennent moyennement :

Carbone. . . .	790	. . .	790	
Hydrogène total	110	Libre.	97,5	= 390 de carbone
Oxygène. . . .	100	Eau.	112,5	
	1000		1000,0	

1000 grammes de substance azotée neutre contiennent moyennement :

Carbone. . . .	533,7	. . .	533,7	
Hydrogène total	70,5	Libre.	41,1	= 164,4 de carbone
Oxygène. . .	235,3	Eau. .	264,7	
Azote.	160,5	. . .	160,5	
	1000,0		1000,0	

D'où résulte que la puissance calorifique de ces trois ordres de substances organiques, évaluée en carbone, est représentée par les nombres suivants :

1000 grammes de matière amylacée = 420gr. de carbone.
1000 grammes de matière grasse = 1180gr. de carbone.
1000 grammes de matière azotée neutre = 698gr,1 de carbone.

Nous avons supposé que la matière azotée neutre est complétement brûlée dans l'économie, transformée

en eau, acide carbonique et azote libre. En réalité il n'en est pas ainsi ; la matière azotée neutre, incomplétement brûlée, est éliminée sous forme d'urée. Le travail déjà cité de M. Frankland prouve que, dans cette transformation :

1000 grammes de matière azotée neutre = 541 gr. de carbone.

Lorsque l'alimentation est régulière et que les éléments introduits dans l'économie sont utilisés de la manière la plus convenable, toute la matière azotée ingérée doit être employée à remplacer celle que le travail de dénutrition élimine sous forme d'urée ; c'est donc l'équivalent calorifique de M. Frankland qu'il faut adopter.

L'homme adulte perd, en vingt-quatre heures, par ses déjections, ses excrétions, etc., en azote et matières azotées, supposées sèches :

	AZOTE	MATIÈRE AZOTÉE NEUTRE
Urine[1] 32 grammes d'urée. .	15gr.	130gr.
Excréments solides 160 gr., Mucus, exhalations diverses.	5, 5	

Cette matière azotée éliminée par le travail de dénutrition doit se retrouver intégralement dans les substances alimentaires ingérées.

Les recherches que nous avons faites, avec M. le professeur Andral[2], sur les gaz de la respiration chez

[1] Lecanu. *Mémoires de l'Académie de médecine.* 1840. Tome VIII, page 676.

[2] *Annales de chimie et de physique.* IIIe série. 1843. Tome VIII, page 129.

l'homme prouvent qu'un homme adulte et bien constitué brûle moyennement 264 grammes de carbone par vingt-quatre heures. Nous savons, en outre, que la combustion du carbone ne représente que les *quatre cinquièmes* de la chaleur produite par l'homme. Indépendamment de ce carbone, l'homme brûle donc en vingt-quatre heures une quantité d'hydrogène dont l'équivalent calorifique est 66 grammes de carbone. Ce carbone est fourni à la fois par les matières ternaires, amylacées ou grasses, et par les matières quaternaires incomplétement brûlées.

Pour que la nutrition soit normale et régulière, le régime alimentaire de l'homme adulte doit donc être réglé de manière à lui fournir en vingt-quatre heures :

1° 130 grammes de matière azotée neutre ;
2° L'équivalent calorifique de 330 grammes de carbone.

Ces conditions sont réalisées dans la *ration mixte* proposée par M. Payen[1] :

Ration mixte normale. . .	Pain.	1000 gr.
	Viande de bœuf. .	286 »

La viande est prise complétement dépouillée d'os, ce qui représente 367^{gr},5 de viande de boucherie, telle qu'on la livre ordinairement.

Les analyses chimiques les mieux faites indiquent

[1] *Précis théorique et pratique des substances alimentaires*, 1865, 4e édition, page 484.

que les matières organiques sont contenues, dans le pain frais, dans les proportions suivantes :

1000 GRAMMES DE PAIN				
Matière azotée neutre.	70gr.	équiv. cal.	37gr,87	carbone.
Matière amylacée. . .	567	Id.	238 ,14	Id.
Matière grasse. . . .	13	Id.	15 ,34	Id.
	650		291 ,35	

D'autre part, les analyses de la viande de bœuf indiquent qu'à l'état frais, elle contient :

1000 GRAMMES DE VIANDE DE BŒUF				
Matière azotée neutre.	210gr.	équiv. cal.	113gr.	carbone.
Matière grasse. . . .	60	Id.	70 ,8	Id.
	270		183 ,8	

Dans le calcul de l'équivalent calorifique de la matière azotée du pain et de la viande, nous supposons, conformément à ce qui a lieu dans l'économie, que cette matière est incomplétement brûlée et expulsée sous forme d'urée.

La ration mixte de M. Payen peut donc être représentée ainsi :

		MATIÈRE AZOTÉE NEUTRE	ÉQUIVALENT CALORIFIQUE EN CARBONE
Pain.	1000 grammes.	70gr.	291gr,35
Viande. . . .	286 Id.	60 ,26	52 ,57
		130 ,26	343 ,92

Cette ration mixte remplit donc toutes les conditions exigées par une nutrition normale et régulière.

A ce sujet, on peut se poser deux questions :

1° Quelle quantité de pain faudrait-il fournir à un homme, par vingt-quatre heures, pour le nourrir convenablement ?

Pour trouver, dans cette alimentation exclusive, les 130 grammes de matière azotée neutre qui lui sont nécessaires, l'homme devrait consommer, par vingt-quatre heures, 1857 grammes de pain. Mais, d'autre part, cette quantité de pain a pour équivalent calorifique 550 grammes de carbone, c'est-à-dire 220 grammes de carbone de plus qu'il n'en faut pour maintenir la température constante. Cet excès de 220 grammes de carbone est lui-même l'équivalent calorifique de 755 grammes de pain. Cette ration exclusive aurait donc le désavantage de ne pas utiliser une partie considérable de la matière ternaire ingérée par l'homme.

2° Y aurait-il avantage à ne donner à l homme que de la viande pour toute alimentation?

Pour fournir à l'homme les 130 grammes de matière azotée neutre qui lui sont nécessaires, il suffirait de lui faire manger 619 grammes de viande de bœuf par vingt-quatre heures. — Mais, d'autre part, cette quantité de viande de bœuf n'a pour équivalent calorifique que $113^{gr},77$ de carbone, c'est-à-dire $216^{gr},83$ de carbone de moins qu'il n'en faut pour maintenir la température constante. Cette ration serait donc insuffisante, et l'homme soumis à ce régime

exclusif devrait brûler ses propres tissus pour produire de la chaleur.

On pourrait, il est vrai, en élévant la quantité de viande atteindre l'équivalent calorifique des 330 grammes de carbone. Mais alors l'homme devrait consommer, par vingt-quatre heures, 1795^{gr},4 de viande de bœuf qui représentent 377 grammes de matière azotée neutre. Dans ce cas, le régime contiendrait 247 grammes de matière azotée neutre consommée en pure perte. — Il serait donc complétement irrationnel de vouloir soumettre l'homme au régime exclusif de la viande.

On a souvent parlé de remplacer le pain de froment par des pommes de terre, dans les moments et dans les contrées où les céréales font défaut ; il est possible de constituer en effet une ration alimentaire satisfaisante, en associant la pomme de terre à la viande.

1000 GRAMMES DE POMMES DE TERRE ROUGES CONTIENNENT :

Matière azotée. . .	31^{gr}.	équiv. cal.	16^{gr},77	carbone.
Matière amylacée. .	252	Id.	105 ,84	Id.
Matière grasse. . .	2	Id.	2 ,36	Id.
			124 ,97	

Une ration mixte composée de 2200 grammes de pommes de terre rouges et de 300 grammes de viande de bœuf, par vingt-quatre heures, serait représentée ainsi qu'il suit :

		MATIÈRE AZOTÉE NEUTRE	ÉQUIVALENT CALORIFIQUE EN CARBONE
Pommes de terre. . .	2200gr.	68gr.	274gr,9
Viande..	300	63	55 ,4
		131	330 ,3

Avec cette ration, l'homme trouverait donc, dans les aliments consommés, la quantité de matière azotée neutre nécessaire à la réparation de la perte occasionnée par la dénutrition, et en même temps une quantité de matière ternaire, combustible, suffisante pour maintenir sa température constante.

La pomme de terre peut donc remplacer le pain de froment dans la nourriture de l'homme; mais à la condition que la ration de viande soit portée de 286 à 300 grammes par vingt-quatre heures. Nous devons, en outre, faire observer que cette substitution entraîne nécessairement après elle des modifications notables dans le travail des voies digestives. Nous avons vu, en effet, que, soumis à la ration composée de pain et de viande, l'homme n'introduit, par vingt-quatre heures, dans son estomac que 1286 grammes d'aliments solides frais, tandis que la consommation d'aliments solides s'élève, dans le même espace de temps, à 2500 grammes, quand la pomme de terre prend la place du pain de froment.

VI

LONGÉVITÉ DES GRAINES (page 301.)

« Dans l'état où on la récolte après sa maturité parfaite, dit M. Boussingault[1], la graine est inerte; ses fonctions vitales sont entièrement suspendues, et l'on peut la conserver souvent pendant un temps très-long avant de la faire germer. Cette longévité de la semence est d'ailleurs extrêmement variable, selon les espèces. Il est des plantes dont les graines gardent, pour ainsi dire, indéfiniment leur vertu germinative; il en est d'autres, au contraire, qui la perdent très-promptement.

« D'après des observations qui paraissent devoir inspirer toute confiance, des graines :

De tabac ont pu germer après			10	ans de conservation.
De stramoine	—	—	25	— selon Duhamel.
De sensitive	—	—	60	— —
De froment	—	—	100	— selon Pline.
Id.	—	—	10	— selon Duhamel.
De melon	—	—	41	— selon Friewald.
De concombre	—	—	17	— selon Roger Galen.
De haricots	—	—	33	— —
Id.	—	—	100	— selon Gérardin.
De raves	—	—	17	— selon Lefébure.
De seigle	—	—	140	— selon Home.

[1] *Économie rurale*. 2e édition, tome I, page 5.

« Les graines de café sont peut-être celles qui perdent le plus rapidement la propriété de germer, et les planteurs savent très-bien qu'il faut les semer presque immédiatement après qu'elles ont été enlevées de l'arbuste. Les graines oléagineuses ne se conservent aussi que très-difficilement ; il en est de même des semences des rubiacées, de la fraixinelle, des lauriers, des myrtées.

« Dans la pratique, il y a toujours avantage et beaucoup plus de sécurité à semer les graines les plus récentes, même parmi celles qui présentent le plus de longévité. Ainsi, ce n'est que dans des circonstances forcées que le cultivateur confie à la terre le froment récolté dans les années antérieures, et l'expérience prouve que, dans une semblable occurrence, il convient d'augmenter très-sensiblement la quantité de semailles. »

VII

RÉSISTANCE A L'ACTION DES TEMPÉRATURES ÉLEVÉES

(page 301)

M. Sachs rapporte les expériences tentées, d'après ses conseils et sous sa direction, par M. Herm. Fiedler, sur diverses graines sèches et humides.

1° Graines séchées à l'air ; elles ont germé.

Les graines de pois après avoir supporté une température de				74°
Les graines de seigle	—	—	—	68
Les graines d'orge	—	—	—	64
Les graines de blé	—	—	—	72
Les graines de maïs	—	—	—	68

2° Graines humides ; elles ont germé.

Les graines de pois après avoir supporté une température de				53°
Les graines de seigle	—	—	—	52
Les graines d'orge	—	—	—	50
Les graines de blé	—	—	—	52
Les graines de maïs	—	—	—	52

La résistance à l'action de la chaleur augmente donc avec le degré de dessiccation ; ce fait explique comment Duhamel a pu faire germer des grains de blé qui avaient supporté une température de 112°,5;

[1] *Physiologie végétale*, traduction de M. Micheli. Paris, 1868, page 72.

la dessiccation était plus complète que dans les expériences précédentes. — M. Doyère a pu exposer à une température de 115° et même de 120° des grains de blé *complétement desséchés à froid*, sans leur faire perdre leur faculté germinative.

D'après M. Pasteur, les spores *secs* de *Penicillium glaucum* supportent sans inconvénient une température de 128°; la plupart même se développent après une exposition d'une demi-heure à l'action d'une température de 119 à 121°; ils perdent leurs propriétés germinatives quand ils restent une demi-heure soumis à l'influence d'une température de 127° à 132°. — Les spores d'*Ascophora elegans* se comportent de la même manière.

H. Hoffmann a trouvé que des spores *secs* d'*Uredo destruens* et *segetum* peuvent être chauffés jusqu'à 128°; mais s'ils sont *humides*, ceux de l'*Uredo segetum* ne résistent pas au delà de 50°,5 à 62°; ceux de l'*Uredo destruens* peuvent supporter 70° et même 73°.

D'après M. Payen, l'*Oidium aurantiacum* résiste à une température de 120°.

VIII

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES[1] (page 304.)

« En discutant sous quelles conditions de température se développent plusieurs plantes communes à l'Europe et à l'Amérique, on est conduit à des résultats d'un certain intérêt.

« La connaissance de la température moyenne d'un lieu situé entre les tropiques donne déjà une idée assez précise de son agriculture ; en effet, la température de chaque jour diffère peu de celle de l'année entière, durant laquelle la vie végétale s'exerce sans interruption aucune ; il en est tout autrement pour les régions placées en dehors de la zone torride. La chaleur moyenne annuelle n'est plus alors une donnée suffisante pour apprécier l'importance agricole d'une contrée. Pour savoir ce que la terre produira, il faut connaître la chaleur particulière aux différentes saisons ; en un mot, c'est la température moyenne du cycle dans lequel s'opère la végé-

[1] Boussingault, *Économie rurale*, considérée dans ses rapports avec la chimie, la physique et la météorologie. 2e édition, tome II, page 690.

tation qu'il importe d'évaluer, pour savoir quelles sont les plantes utiles que l'on peut exiger du sol.

« Dans l'examen de cette question, on cherche d'abord quel est le temps écoulé entre la naissance d'une plante et sa maturité; on détermine ensuite la température de l'espace qui sépare ces deux époques extrêmes de la vie végétale. En comparant ces données pour une même espèce de plante cultivée en Europe et en Amérique, on arrive à ce résultat curieux : que le nombre de jours compris entre le commencement de la végétation et la maturité est d'autant plus grand, que la température moyenne sous l'influence de laquelle la plante végète est moindre. La durée de la végétation sera la même, quelque différent que soit le climat, si cette température est identique de part et d'autre ; elle sera, ou plus courte ou plus longue, selon que la chaleur moyenne du cycle sera elle-même plus ou moins forte. En d'autres termes, la durée de la végétation paraît être en raison inverse de la température moyenne; de sorte que, si *l'on multiplie cette température moyenne par le nombre de jours durant lesquels une même plante végète dans des climats distincts, on obtient des nombres à peu près égaux*. Ce résultat n'est pas seulement remarquable en ce qu'il semble indiquer que *sous toutes les latitudes, à toutes les hauteurs, la même plante reçoit dans le cours de son existence une quantité égale de chaleur;* il peut aussi

trouver une application directe en permettant de prévoir la possibilité d'acclimater un végétal dans une contrée dont on connaît la température moyenne des mois. »

Nous avons réuni dans les tableaux suivants les résultats des observations de M. Boussingault, tant en Europe qu'en Amérique.

CULTURE DU FROMENT

Localités		Durée de la culture	Température moyenne du cycle	Produit
Alsace	Blé d'automne	137 jours	15°	2055
	Blé d'été	131 —	15 ,8	2070
Paris (Blé d'automne)		160 —	13 ,4	2144
Alais (Blé d'automne)		146 —	14 ,4	2102
Kingsten	Blé d'automne	122 —	17 ,2	2098
	Blé d'été	106 —	20	2120
Cincinnati (Blé d'été)		137 —	15 ,7	2151
Zimijaca (Plateau de Bogota)		147 —	14 ,7	2161
Quinchuqui (près le lac San Pablo)		181 —	14	2534
Turmero (Venezuela)		92 —	24	2208
Truxillo (Venezuela)		100 —	22 ,3	2230

CULTURE DE L'ORGE

Localités		Durée de la culture	Température moyenne du cycle	Produit
Alsace	Orge d'été	92 jours	19°	1748
	Orge d'hiver	122 —	14	1708
Alais (Orge d'hiver)		137 —	13 ,1	1795
Egypte		90 —	21	1890
Kingsten		92 —	19	1748
Cumbal		168 —	10 ,7	1798
Santa-Fé		122 —	14 ,7	1795

CULTURE DU MAÏS

Localités		Durée de la culture	Température moyenne du cycle	Produit
Alsace.. . . .	Maïs d'été.. . .	122 jours	20°	2440
	Maïs du printemps	153 —	16 ,7	2555
Alais (Maïs du printemps). . . .		155 —	22 ,7	3064
Kingsten.		122 —	22	2684
Rio Magdalena.	Maïs pailon. . .	92 —	27 ,5	2530
	Autre variété. .	120 —	26	3120
Zupa..		137 —	21 ,5	2945
Plateau de Santa-Fé.		183 —	14 ,7	2690

Les résultats obtenus à Rio Magdalena montrent que, dans la même localité, la variété de maïs exerce une assez grande influence sur la durée de la culture de cette plante.

CULTURE DE LA POMME DE TERRE.

Localités		Durée de la culture	Température moyenne du cycle	Produit
Alsace. . .	1836.	157 jours	18°,2	2857
	Année moyenne.. .	173 —	18 ,2	3149
Alais..		153 —	21 ,1	3228
Lac Valencia..		120 —	25 ,5	3060
Mérida (Cordilières)		137 —	22	3014
Santa-fé.		200 —	14 ,7	2940
Pusuqui.		200 —	15 ,5	3100
Pinantura (altitude 3155 mètres).		276 —	11	3036
Cambugan.		335 —	9 ,5	3182

Cambugan paraît être, sous l'équateur, la limite supérieure à laquelle la pomme de terre peut être cultivée. Dans cette localité, elle reste *onze* mois sous terre ; à cette grande élévation, on perd sou-

vent la récolte par les gelées qui surviennent en novembre et janvier.

CULTURE DE L'INDIGOTIER

Localités	Durée de la culture	Température moyenne du cycle	Produit
Venezuela (niveau de la mer). . .	80 jours	27°,4	2192
Maracay.	92 —	25 ,5	2585
Coromandel.	90 —	24 ,6	2214
Régions tempérées, que l'on doit considérer comme la limite de cette culture.	106 —	22 ,5	2585

Quand on tient compte de l'incertitude qui règne toujours, nécessairement, sur le jour où, la maturité étant complète, la récolte peut être faite, on est frappé de la concordance des résultats fournis par la même plante dans des régions si diverses. On peut donc admettre avec M. Boussingault que, sous toutes les latitudes et à toutes les altitudes, une même plante reçoit une même quantité de chaleur, dans le cours de son développement complet.

Dans l'existence de chaque plante, il faut distinguer deux périodes fort différentes : la germination et la végétation proprement dite, et la maturation. — La graine germe, les racines, la tige et les feuilles se développent dans des conditions de température extérieure qui peuvent varier entre des limites fort étendues ; mais, pour que la maturation s'accomplisse régulièrement, il faut de toute nécessité que, au moment où le fruit commence à se former,

la température atmosphérique se maintienne quelque temps à un degré suffisamment élevé et n'éprouve pas de grandes variations. Cette température de maturation varie, d'ailleurs, d'une espèce végétale à l'autre. — L'insuffisance de la température estivale et l'intensité du froid de l'hiver sont les deux grandes causes de la disparition des plantes vivaces sous les hautes latitudes, comme dans les régions très-élevées du globe.

La vigne végète encore avec vigueur là où cependant le raisin ne mûrit jamais. Pour produire du vin potable, il faut qu'un vignoble ait non-seulement un été et un automne suffisamment chauds, mais il faut, en outre, qu'à une période donnée, celle qui suit l'apparition des grains, il y ait un mois dont la température moyenne se soutienne au-dessus de 18°, comme on peut s'en assurer par les renseignements suivants empruntés au travail de A. de Humboldt [1] :

	TEMPÉRATURE MOYENNE			
	De l'été	De l'automne	Du mois le plus chaud	
Bordeaux	21°,7	14°,4	22°,9	Culture très-favorable.
Francfort-sur-Mein	18,5	10,0	18,8	
Lausanne	18,4	9,9	18,7	
Paris	18,1	11,2	18,9	
Berlin	17,5	8,8	18,0	Vin à peine potable.
Londres	17,1	10,7	17,8	La vigne n'est plus cultivée.
Cherbourg	16,5	12,5	17,3	

[1] Humboldt, *Asie centrale*. Tome III, page 159.

D'après les observations de M. Boussingault, la vigne est productive, sous les tropiques, par des températures constantes qui varient entre 20 et 27°. Le raisin mûrit à Lambayeque, presque au niveau de la mer, sur la côte du Pérou, et à Medellin à une altitude de 1550 mètres.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

Préface v
De la méthode expérimentale 1
Nécessité de ne pas séparer la biologie des autres sciences . . 4
Direction actuelle des études biologiques. 11

PREMIÈRE SECTION

CIRCULATION DE LA MATIÈRE

Origines des éléments constituants des êtres organisés. . . 15
La plante emprunte des éléments minéraux à la terre et à l'atmosphère, et fabrique les substances organiques. . . 16
L'animal emprunte ses matières alimentaires à la plante, les brûle et les ramène à l'état minéral 18
Définition du rôle de la matière dans les phénomènes de la vie. . 22
Citation remarquable de Lavoisier sur ce sujet. 23
Antagonisme du végétal et de l'animal dans leurs rapports avec l'atmosphère. 27
Apparition des végétaux et des animaux à la surface de la terre. 29

SECONDE SECTION

CIRCULATION DE LA FORCE

Deux problèmes de biologie à résoudre. 33
La matière est indestructible. 34

CHAPITRE PREMIER

DE LA FORCE DANS LE MONDE INORGANIQUE

Les forces d'ordre différent ont entre elles des rapports de solidarité. 35
Apparition dans la science du principe de *l'équivalence de travail de la chaleur*. 36
Qu'est-ce qu'un phénomène? Qu'est-ce qu'une force?. . . 36
Mesure de la force mécanique. 37
Travail mécanique. — Mesure du travail mécanique. . . . 38
Force motrice. — Mesure de la force motrice. 38
Différence entre la pression et le choc. 39
Force vive. — La force vive d'un corps tombant en chute libre est égale à la force motrice dépensée pour l'élever à la hauteur d'où il est tombé. 41
Expression de la force vive en fonction de la masse du corps et de la vitesse acquise (note). 42
La chaleur peut produire, selon les circonstances, un effet thermique ou un travail mécanique. 43
La force mécanique peut produire, selon les circonstances, un travail mécanique ou un effet thermique. 45
La chaleur est la force vive des vibrations insensibles des molécules des corps. 47
Expériences de Rumford sur le frottement ; ses idées sur la nature de la chaleur. 47
Expériences de Davy sur la fusion de deux fragments de glace frottés dans un milieu à *zéro*. 50
Expérience de L. Foucault sur l'échauffement d'un disque de cuivre tournant entre les pôles d'un électro-aimant . . . 51
Loi de la transformation de la chaleur en travail mécanique, et du travail mécanique en chaleur. 51
Valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur. 53
Tableau des diverses évaluations de l'équivalent mécanique de la chaleur. 54
Calcul de la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur au moyen des propriétés des gaz (note). 54
Toutes les forces sont transformables les unes en les autres. — La force est indestructible. — La somme de forces répandue dans l'univers est invariable. 56
Les forces sont les activités propres de la matière. 57
Force mécanique représentée par la combustion du carbone et de l'hydrogène. 57
La chaleur ne peut pas se transformer en totalité en force

mécanique 58
Dans l'univers, la force mécanique diminue sans cesse, et la chaleur augmente. — État d'équilibre définitif. — Cessation finale de toute réaction, de toute activité. 59
Énergie d'un corps. — Énergie *totale*. — Énergie *actuelle*. — Énergie *potentielle*. — La somme de l'énergie *actuelle* et de l'énergie *potentielle* est égale à l'énergie *totale*. . 60
Énergie des corps combustibles. 62
Formes primitives du principe dynamique. 66
La réaction restant la même, la modalité dynamique manifestée varie avec la nature et l'agencement des pièces du support. 68
L'agrégat vivant est nécessairement le siége de manifestation des modalités dynamiques distinctes de celles du monde inorganique 71

CHAPITRE II

DE LA FORCE DANS LE MONDE ORGANISÉ

La plante n'exécute aucun travail extérieur, et consomme la force vive de la radiation solaire. 73
La plante exécute un travail intérieur, pour lequel elle utilise la force vive de la radiation solaire. 74
L'animal est condamné à un travail extérieur incessant. . 75
Trois principales formes de la force produite par l'animal. . 77

ARTICLE PREMIER

CHALEUR PRODUITE PAR LES ANIMAUX

Tout animal produit de la chaleur. 78
Invariabilité de la température propre des animaux supérieurs. 78
Température des oiseaux. 80
Température des mammifères. 81
Température de l'homme. 82
Résistance des oiseaux et des mammifères aux causes extérieures de refroidissement 82
Les animaux inférieurs sont des êtres à température variable . 83
Température des reptiles. 85
Température des poissons. 86
Température des articulés et des annélides. 86
Température des mollusques 88
Température des zoophytes. 88
Résultats moyens obtenus par M. Valentin pour la tempéra-

ture des animaux inférieurs 89
Origine de la chaleur animale. 89
Théorie de la chaleur innée. 90
Opinions de J. Hunter. 90
Théorie de Barthez et de son école. 91
Opinions de Brodie et de M. Chossat. 93
Doctrine des chimiatres. 93
Travaux remarquables de J. Mayow. 94
Théorie des iatro-mécaniciens. 97
Réaction de d'Alembert. 98
Travaux de Lavoisier. 99
Théorie vraie de la chaleur animale. 101
Où se fait la combustion des matériaux du sang?. 101
Gaz libre du sang. 101
Méthode d'analyse de M. Boussingault 102
Résultats des expériences de M. Letellier. 103
L'alimentation change avec le climat. 104
La chaleur produite par l'animal n'est que l'énergie potentielle des matières alimentaires, et cette énergie potentielle est l'équivalent de la chaleur empruntée au soleil par la plante. 105
Les rapports de l'animal avec le monde extérieur sont toujours de même nature. 106
Rapports de la plante avec l'atmosphère, le jour et la nuit. . 106
La fleur est un appareil de combustion. 109
La graine est un appareil de combustion. 109
La graine ne produit pas de matière organique pendant la germination; elle en détruit, en brûle. 111
Germination des graines oléagineuses. 112
Les surfaces vertes meurent quand elles sont privées trop longtemps d'oxygène. 113
Développement d'une plante maintenue constamment dans l'obscurité. 114
Dans l'obscurité complète, la plante se conduit absolument comme un animal. 117
Résumé des phénomènes de développement de la plante. . . 118
L'animal ne rend disponible, par les combustions respiratoires, que la chaleur empruntée au soleil par la plante. 119

ARTICLE II

CONTRACTILITÉ MUSCULAIRE

Persistance de la contractilité après la mort. 120
La contractilité est indépendante de l'intervention du système

nerveux. 121
La contractilité est sous la dépendance de la circulation sanguine. 123
La température du muscle s'abaisse quand on lie son artère nourricière. 123
Les combustions internes augmentent dans un muscle en contraction. 124
Modifications organiques du muscle pendant sa contraction. . 125
La fatigue musculaire résulte de l'accumulation des produits de dénutrition. 126
A l'état de repos, les combustions internes n'aboutissent finalement qu'à une production de *chaleur sensible*.. 127
A l'état de mouvement, la chaleur sensible ne représente pas l'ensemble des actions comburantes.. 128
Le muscle peut se contracter dans trois conditions très-différentes. 131
Travail de M. Béclard sur la chaleur dégagée et absorbée pendant la contraction musculaire. 131
Phénomènes de calorification chez une jeune fille dont le bras était successivement en contraction et en paralysie. 133
Travail de M. Hirn sur la chaleur produite et consommée par un homme qui descend et monte un escalier. 134
Phénomènes caloriques pendant le travail positif et le travail négatif. 135
Quel que soit le mode de contraction, la dépense organique est la même; la manifestation extérieure seule varie. 136
La contractilité joue le rôle de l'élasticité de la vapeur; c'est un agent de transformation. 137
La combustion précède la mise en jeu de la contractilité.. . . 137
Expériences de M. Hirn sur la proportion de la chaleur produite que l'homme peut utiliser en travail. 140
Le rendement de moteurs animés est supérieur à celui des machines à feu les plus perfectionnées. 143
L'habitude augmente le rendement du moteur animé. . . . 144
Puissance des divers animaux considérés comme moteurs. . . 145
La force relative varie en sens inverse du volume de l'animal. 153
L'animal ne transforme pas la totalité de la chaleur produite en travail. 153
Précautions à prendre pour tirer le meilleur parti possible de la force musculaire de l'homme. 155
Justification de ces précautions tirée des phénomènes de la respiration. 155
Cause des principaux accidents que l'homme éprouve dans les

hautes régions de l'atmosphère. 157
Le mal des montagnes est une intoxication par acide carbonique. 164
Les matières quaternaires sont brûlées comme les ternaires. . 165
Opinion de Liebig sur l'origine de la puissance musculaire. . . 166
Mayer montre que le muscle ne se brûle pas pour produire la force. 167
Relation et analyse de l'expérience de MM. Fick et Wislicenus. — Ascension sur le Faulhorn. 169
La combustion des matières quaternaires du sang ne fournit pas plus de la moitié de la force représentée par le travail utile effectué. 173
Exemples de même nature empruntés aux animaux. 174
Les matières ternaires ne sont pas seules respiratoires. . . . 175
La quantité de matière quaternaire brûlée dépend du régime alimentaire adopté. 176
Quelle que soit son origine, la chaleur produite peut être transformée en travail. 176
L'exercice influe sur la quantité de matière quaternaire brûlée. 177
Tableau représentant les quantités de chaleur et de force mécanique fournies par la combustion d'un kilogramme de diverses substances alimentaires. 179
Règles à déduire de ces considérations pour déterminer la nature du régime à adopter. 180
Tentative de M. Talabot dans une usine du département du Tarn. 180
Exemples divers de l'influence exercée par la nature du régime alimentaire. 181
Nécessité de faire entrer les matières ternaires et les matières quaternaires en proportions convenables dans le régime alimentaire. 183
Travail de J. Mayow sur les origines de la force musculaire. . 189

ARTICLE III

ACTIVITÉS DU SYSTÈME NERVEUX

Les rapports de l'être vivant avec l'atmosphère ne peuvent pas servir à caractériser le règne animal, ni le règne végétal. . 195
La composition ne caractérise pas les deux règnes. 196
L'excitabilité existe chez les plantes. 196
Des mouvements spontanés intermittents et continus s'observent chez les plantes. 198
Excitabilité, motilité, instinct chez les protozoaires, les infu-

soires et les zoophytes. 204
Rôle des nerfs dans l'économie animale. 211
Activité propre, Neurilité, propriété commune aux nerfs sensitifs et moteurs ; la fonction seule les distingue. 213
Le nerf n'emprunte rien aux centres nerveux. 214
Dégénérescence atrophique. — Restauration autogénique des nerfs sectionnés. — Restitution de toutes leurs propriétés physiologiques. 215
La neurilité est l'attribut physiologique distinct, indépendant des fibres nerveuses. 217
Expériences de Flourens et de MM. Vulpian et Philippeaux sur la réunion par soudure de nerfs d'origines et de fonctions différentes. 217
La transmission des excitations nerveuses s'opère à la fois dans les deux sens, centripète et centrifuge. 220
Propriétés fondamentales, essentielles des fibres nerveuses. . . 220
Composition du système nerveux, activités et modes d'excitation de ses éléments constituants. 221
Les activités de la fibre et de la cellule restent les mêmes dans toutes les régions du système nerveux ; mais leurs fonctions varient en raison de leurs connexions. 223
Réactions réciproques des deux éléments constituants du système nerveux. 223
Il n'est pas nécessaire, pour se rendre compte des fonctions du système nerveux, de recourir à l'intervention d'une force indépendante, surajoutée. 225
Les activités de la fibre et de la cellule nerveuses ne doivent pas être confondues avec les manifestations électriques des nerfs et des centres 225
Influence des classes zoologiques et de la température sur l'irritabilité et sur la vitesse de propagation de l'excitation des nerfs. 225
Influence de la circulation et des combustions respiratoires sur l'excitabilité des nerfs et des centres. 226
Observations faites sur les animaux hibernants pendant l'engourdissement et pendant la léthargie. 227
Expériences de Sténon, de Flourens, de M. Brown-Séquard, d'Astley Cowper et de M. Vulpian sur l'influence de la circulation, sur l'excitabilité du système nerveux. 229
Opinion et expériences de Legallois sur le principe de vie. . . 233
Expérience de M. Brown-Séquard sur une tête de chien séparée du tronc. 237
Dans le système nerveux en action, les combustions internes

sont exagérées. 237
Travail de M. Byasson sur les rapports qui existent entre l'activité du système nerveux et la composition des urines excrétées. 239
Recherches de M. J.-P. Lombard sur l'élévation de température des centres nerveux pendant le travail cérébral. 240
Recherches de M. O. Liebreich sur la combustion de Protagon dans les nerfs fortement et longtemps excités. 241
Recherches de MM. Helmholtz, Oehl, Valentin et Schiff sur l'élévation de température des nerfs pendant qu'ils sont le siége de la propagation d'une excitation quelconque. . . . 242
Lorsque l'activité propre d'un cordon nerveux est mise en jeu par une excitation quelconque, la propagation de cette excitation s'accompagne d'une élévation de température appréciable sur le trajet du nerf. 247
Les activités du système nerveux sont autonomes, mais dans des rapports d'étroite solidarité avec les combustions respiratoires. 250
Analogies et différences entre le système nerveux et le système musculaire. 250
Le système nerveux intervient dans toutes les fonctions de l'économie; son action est-elle directe ou indirecte?. . . . 251
L'action du système nerveux dans la nutrition est indirecte. . 252
L'action du système nerveux dans les fonctions des glandes est indirecte. 252
L'action du système nerveux sur les muscles est indirecte. . . 253
Preuves tirées de l'électro-physiologie. 254
L'action du système nerveux est comparable à celle d'une étincelle sur les matières combustibles. 256
Le système nerveux intervient dans tous les actes de l'économie; mais son action se borne à modifier les conditions physico-chimiques d'exercice des organes. 257
L'activité spéciale des éléments nerveux dérive des actions physico-chimiques, est un pur agent de transformation. . . 257
Le système nerveux peut être comparé à un réseau de télégraphie électrique. 258
Belle pensée de Lavoisier sur le travail. 259
Les principes déduits de l'étude des systèmes nerveux et musculaire embrassent les actions de tous les tissus de l'économie. 260
Autonomie de la physiologie. — Ses rapports avec les autres sciences. 261
Conclusions générales sur les origines de la matière et de la force dans le monde organisé. 262

TROISIÈME SECTION

DE LA PRODUCTION SPONTANÉE. — DE LA FORCE VITALE

De la production spontanée. — Équilibre instable et équilibre stable de la matière. — Origines de la matière organique 267
Les substances organiques sont des combinaisons en proportions définies, et par suite réalisables par les seules forces physico-chimiques. 268
Des synthèses organiques. 269
Albuminoides non encore réalisés, mais réalisables par synthèse. 269
La cellule active est-elle spontanément réalisable?. 270
Conditions expérimentales imposées par le Panspermisme. . . . 271
Dans l'état actuel de la science, impossibilité de faire une expérience probante de production spontanée. 273
Philosophiquement, la production spontanée n'est pas inadmissible. 276
De la force vitale. — Question posée de l'existence d'un principe indépendant, d'une force vitale surajoutée à l'agrégat organique. 277
Comment a pu naître l'idée d'une force vitale. 277
Barrière élevée entre le monde minéral et le monde organisé. 278
De la matière et de la force dans le monde minéral. 278
Ces principes doivent être étendus au monde organisé. — Les manifestations vitales subsistent là où l'action d'une force vitale est inadmissible. 280
Rien ne prouve la coordination forcée des actes vitaux dans un but d'utilité toujours le même. — Exemples à l'appui de cette proposition. 284
Constitution du germe 288
Tendance à la réalisation d'une forme typique. — Opinion des vitalistes. — Conception des animistes. 289
L'idée créatrice. — La force créatrice de M. Cl. Bernard. . . 291
La tendance à la forme typique existe dans le monde minéral. — La cristallisation 293
Cette tendance existe dans chaque partie de l'être vivant et du germe. — Exemple du développement de la queue de la larve de grenouille séparée du reste du corps. 294
Le développement s'opère toujours dans le sens de la résultante des activités propres des éléments histologiques et des actions extérieures. — Il s'étend jusqu'au but que cette résultante peut atteindre. 297

Importance des conditions extérieures dans le développement du germe. 299
Longévité des graines 300
Résistance des graines desséchées à l'action de la chaleur sèche. 301
Persistance de la faculté de se développer dans les germes des animaux. 301
Influence des agents extérieurs sur le mode de développement des germes des animaux. 302
Quantité de chaleur toujours la même pour le développement complet d'un germe. 303
Études de tératologie de M. C. Dareste. 304
La force de développement est nécessairement de même nature que les agents cosmiques. 305
Importance de l'eau dans l'économie. — Possibilité de l'enlever et de la rendre. 306
Végétaux réviviscents. 307
Les animaux congelés reprennent leur activité par le dégel. . 308
Animaux réviviscents. 309
Y a-t-il des forces latentes? 312
Que faut-il penser du phénomène de la réviviscence? — Opinion de Barthez. 313
Étude des formes diverses sous lesquelles la vie s'est manifestée aux diverses époques géologiques. 315
Depuis la première manifestation de la vie jusqu'à l'époque moderne, l'agrégat organique est allé sans cesse se modifiant, se perfectionnant 321
Indications des études de géographie botanique et zoologie. . 322
L'animal ne lutte pas contre les conditions extérieures, il les subit et cherche à s'harmoniser avec elles. 323
Les forces, sous l'influence desquelles s'opère le développement organique, ne sont pas affaiblies dans l'époque moderne. . . 325
Conclusion. 329

DOCUMENTS

I. — Circulation de la matière. 331
A — *Végétaux*. 331
Composition de l'air. 331
Quantités d'azote, d'ammoniaque et de nitrates contenues dans

les terres arables 332
Eaux 333
Origines des éléments organiques des plantes 33
Composition de l'eau, de l'acide carbonique et de l'ammoniaque. 333
Composition des principales matières ternaires des plantes. — Glucoses. — Saccharoses. — Amyloses 334
Composition des principales matières quaternaires des plantes. Fibrine. — Albumine. — Caséine. — Glutine. — Amandine. — Légumine 335
Cendres des végétaux 337
B — *Animaux* 339
Matières ternaires. — Inosite. — Lactose. — Tunnicine . . . 339
Matières quaternaires. — Albumine. — Fibrine. — Caséine. — Gélatine. — Chondrine. — Vitelline. — Protéine 340
Origines des substances minérales du système osseux 341
Origines des matières grasses du corps des animaux 344
II. Constance de la composition de l'air atmosphérique . . . 349
III. Nature et équivalent mécanique de la chaleur 353
Ancienneté de l'idée de considérer la chaleur comme résultant des vibrations des molécules 353
Théorie des gaz de Bernoulli 357
Mémoire de Lavoisier et la Place sur la chaleur 357
Expériences de Rumford et de Davy 359
Citation remarquable de Young 360
— de Barthez 361
— de Fresnel 362
Mémoire d'Ampère sur la chaleur et la lumière considérées comme résultant de mouvements vibratoires 363
Mémoire de Sadi Carnot 366
Montgolfier et M. Séguin 367
Mayer formule le principe de l'équivalence 368
Travaux de Joule, d'Helmholtz, de Clausius, etc., etc. 370
IV. — Origine de la chaleur animale 371
Travaux de Lavoisier 371
— de Spallanzani 379
Gaz libres du sang 380
Exhalation de l'azote 383
Influence des conditions physiologiques sur l'intensité des combustions respiratoires 383
Classes zoologiques 384

Veille et Sommeil. — Hibernation. 384
Repos et mouvement. 385
Alimentation. 386
Température extérieure. 387

V. — Régime alimentaire. 389

Rôle des diverses matières alimentaires. 389
Ration d'entretien. 390
Résultats de l'alimentation insuffisante. 390
Évaluation en carbone de la puissance calorifique de l'hydrogène, des matières sucrées, grasses et albuminoïdes. 393
Condititions auxquelles doit satisfaire une ration alimentaire. . 396
Ration alimentaire normale de M. Payen. 396
L'homme ne peut être nourri exclusivement ni avec le pain, ni avec la viande. 398
Ration alimentaire composée de pommes de terre et de viande 399

VI. — Longévité des plantes. 401

VII. — Résistance a l'action des températures élevées. . . 403

VIII. — Influence de la température sur le développement des plantes. 405

Culture du froment. 407
— de l'orge. 407
— du maïs. 408
— de la pomme de terre. 409
— de l'indigotier. 410
Végétation. — Maturation des fruits. — Exemple tiré de la culture de la vigne. 410

FIN DE LA TABLE.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.